



Metsähakkeen tuonti Baltiasta irtolastialuksella vaihtoehtona kotimaiselle autotoimitusketjulle

Ville Kortelainen
Pro gradu -tutkielma
Helsingin yliopisto
Metsätieteiden maisteriohjelma
Metsien ekologia ja käyttö
Marraskuu 2019



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution – Department Metsätieteiden osasto, metsätieteiden maisteriohjelma
Tekijä/Författare – Author Ville Kortelainen		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Metsähakkeen tuonti Baltiasta irtolastialuksella vaihtoehtona kotimaiselle autotoimitusketjulle		
Oppiaine / Läroämne – Subject Metsien ekologia ja käyttö – metsäteknologia ja logistiikka		
Työn laji/Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma	Aika/Datum – Month and year Marraskuu 2019	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 78
Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>Metsähake on merkittävä voimalaitospolttoaine Suomessa ja sen käytön oletetaan kasvavan kiristyvien ilmastotavoitteiden ja biojalostamohankkeiden myötä. Käytön kasvaessa metsähakkeen tuonti nousee jatkossa yhä useammin vaihtoehtoiseksi hankintakanavaksi. Tästä syystä metsähakkeen tuontitoimitusketjun kustannuksia ja vaiheita oli tarpeen selvittää kotimaiseen autotoimitusketjuun verrattuna.</p> <p>Metsähakkeen ostajat ja myyjät sopivat hinnasta, määrästä, laadusta ja toimitusaikataulusta sopimusneuvotteluissa. Tämä pätee myös ulkomaisten tuottajien kanssa kauppaa tehtäessä. Baltia on merkittävä Itämeren alueen pellettien ja metsähakkeen tuotantoalue. Baltiassa puuston kasvu ylittää korjuumäärät ja kiinteiden biopolttoaineiden vienti on vakiintunutta toimintaa. Täten aluetta voidaan pitää potentiaalisena tuontihakkeen lähtöalueena. Kansainvälinen kiinteiden biopolttoaineiden kysyntä kasvaa jatkuvasti kansainvälisen ilmastopolitiikan tavoitteiden noustessa. Merirahiti ja rahtimarkkinat ovat merkittäviä huomioitavia tekijöitä kiinteiden biopolttoaineiden kansainvälisessä kaupassa.</p> <p>Kotimaisia metsähakkeen toimitusketjuja on tutkittu runsaasti eri näkökulmista. Näkökulmina aiemmissa tutkimuksissa ja muissa selvityksissä ovat tähän mennessä olleet esimerkiksi kotimaisen metsähakkeen tuotantotavat, toimitusketjut ja niiden kehittäminen, metsähakkeen käyttö sekä hakkeen laadunhallinta. Tuontipuun ja -hakkeen osalta kotimaiset tutkimukset ja muut selvitykset ovat keskittyneet pääosin Venäjän tuontiin. Pelkästään Baltian raakapuun ja hakkeen tuontiin keskittyvää tutkimusta ei Suomessa ole tehty.</p> <p>Tämän tutkimuksen tavoitteena oli lisätä ymmärrystä metsähakkeen tuonnista ja siitä, miten tuontitoimitusketjun kaluston ominaisuudet vaikuttavat voimalaitoksen käyttöpaikkahintaan. Tutkimuksen aineisto sisälsi vapaamuotoisin haastatteluin ja kirjallisista lähteistä hankittuja ominaisuus-, kustannus- ja kapasiteettitietoja. Kotimaisen autotoimitusketjun ja tuontitoimitusketjun määritelmiä, eroja ja yhteneväisyyksiä tarkastelin systeemianalyysin keinoin. Tuontitoimitusketjun kustannustekijöiden ja teknisten muuttujien vaikutusta tuontihakkeen käyttöpaikkahintaan tutkin herkkyyksianalyysin avulla. Metsähakkeen tuonnin kannattavuuden osalta hain kriittistä pistettä suhteessa kotimaiseen autotoimitusketjuun.</p> <p>Tuontitoimitusketjun määrittelyn koostuvan toimitussopimuksesta, merirahdin sopimisesta järjestelyineen, hakkeen lastaamisesta valmisteluineen, merirahdist, hakkeen purkamisesta, autolastaamisesta, jatkokuljetuksesta ja vastaanotosta käyttöpaikalla. Kustannustekijöiksi tunnistin tuontihakkeen FOB-hinnan, merirahdin, kuljetusvakuutuksen, tavaramaksun, laivan purkumaksun, autolastaamisen ja jatkokuljetuksen sekä mahdolliset laivan seisontamaksu ja satamavarastointi. Muutokselle herkin ja merkittävin kustannustekijä oli metsähakkeen FOB-hinta. Vähiten herkkä ja merkittävä kustannustekijä oli kuljetusvakuutus.</p> <p>Tuontitoimitusketjun teknisiä muuttujia ovat irtolastialuksen kokonaiskantavuus ja ruumatilavuus, lastin tiivistymä, jatkokuljetusetäisyys ja hakeautojen määrä. Irtolastialuksen kasvaessa käyttöpaikkahinta ja toimitusketjun kokonaiskustannukset kasvavat. Lastin tiivistäminen laskee käyttöpaikkahintaa, mutta nostaa kokonaiskustannuksia. Jatkokuljetusetäisyyden kasvaessa käyttöpaikkahinta kasvaa, samoin kokonaiskustannukset. Hakeautojen määrän kasvu laskee käyttöpaikkahintaa ja kokonaiskustannuksia. Teknisten muuttujien yhteisvaikutus voi olla merkittävä käyttöpaikkahinnan ja kokonaiskustannusten kannalta.</p> <p>Hankinta-alueen laajentamisen kannattavuuden kriittinen piste riippuu kotimaisen metsähakkeen ja tuontihakkeen käyttöpaikkahinnoista, mutta tutkimuksen lähtöoletusten ja aineiston mukaan kotimaisen autotoimitusketjun hankintaetäisyyden tulee kaksinkertaistua, jotta kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahinta ylittää esimerkkituontitoimitusketjun käyttöpaikkahinnan.</p> <p>Metsähakkeen tuonti Baltiasta irtolastialuksella ei ole kannattavaa nykyisellä kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahintatasolla. Kotimaisen metsähakkeen tulee kallistua huomattavasti, jotta sen käyttöpaikkahinta on sama tai ylittää tuontihakkeen käyttöpaikkahinnan. Käyttöpaikkahinta ei välttämättä ole ainoa tarkasteltava mittari, jos tuontihakkeen käyttö nähdään strategisena linjauksena tai kotimaisen metsähakkeen saatavuus on heikentynyt.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Metsähake, tuonti, toimitusketju, käyttöpaikkahinta, analyysi		
Ohjaaja tai ohjaajat –Handledare – Supervisor or supervisors Veli-Pekka Kivinen, Bo Dahlin ja Timo Tolonen		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsinki yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) ethesis.helsinki.fi		
Muuta tietoa – Övriga uppgifter – Additional information		

ALKUSANAT

Tämä pro gradu -työ kuvastaa reilun viiden vuoden matkan yhtä päätepistettä ja siten mahdollisuutta hengittää ainakin hetken aikaa hieman kevyemmin. Kuljettu taival opintojen parissa on ollut antoisa, mielenkiintoinen, paikoin raskas ja väsyttävä, mutta ehdottomasti kasvattava kokemus.

Kiitokset kihlatulleni, perheelle, ystäville, opiskelija- ja työkollegoille ymmärryksestä ja tuesta opintojen aikana koetun maailmantuskan taklaamisessa. Erityiskiitokset metsätieteiden laitoksen yliopistolehtori Veli-Pekka Kiviselle ja professori Bo Dahlinille opintojeni ajan kestäneestä hyvästä keskusteluyhteydestä ja joustavasta suhtautumisesta töiden ohessa puurtamiselle sekä tämän työn ohjaamisesta. Haluan myös kiittää kollegaani Timo Tolosta työni ohjaamisesta, hyvistä kommentteista ja ajatuksista sekä yleisestä mentoroinnista. Edellä mainittujen lisäksi nimeltä kiitokset ansaitsevat myös kollegat Eveliina Klemola ja Atte Elonen, joiden avustuksella sain terävöitettyä tätä työtä entisestään.

Vantaalla 5.11.2019

Ville Kartelainen

SISÄLLYS

Käsitteet.....	5
Lyhenteet.....	7
1 Johdanto	8
1.1 Tutkimuksen tausta	8
1.1.1 Ilmastopolitiikka ja tavoitteet.....	8
1.1.2 Metsähakkeen käyttö ja merkitys Suomessa	10
1.1.3 Metsähakkeen hinnoittelu, laatu ja laadunvarmistus.....	12
1.1.4 Metsien kasvu, hakkuumäärät ja energijakeiden saatavuus Baltiassa.....	13
1.1.5 Kiinteiden biopolttoaineiden kansainvälinen käyttö ja kauppa	14
1.1.6 Merilogistiikka	17
1.2 Aiemmat tutkimukset metsähakkeen toimitusketjuista	21
1.3 Tutkimustehtävän määrittely	26
1.4 Tutkimuksen tavoitteet	28
2 Aineisto ja menetelmät	30
2.1 Aineiston hankinta.....	30
2.1.1 Kirjallisista lähteistä hankittu aineisto.....	30
2.1.2 Asiantuntija- ja toimijahaastatteluin hankittu aineisto.....	33
2.2 Aineiston käsittely	36
2.3 Systemiikka, -teoria ja -analyysi.....	42
2.4 Herkkyysanalyysi	43
2.5 Kriittinen piste	44
3 Tulokset	45
3.1 Toimitusketjujen systemiikalliset ja vertailu	45
3.2 Tuontitoimitusketjun kustannustekijöiden herkkyysanalyysi	50
3.3 Lastin tiivistymän vaikutus käyttöpaikkahintaan ja kokonaiskustannuksiin	52
3.4 Jatkokuljetuksen vaikutus käyttöpaikkahintaan ja kokonaiskustannuksiin	54
3.5 Hakeautojen määrän vaikutus käyttöpaikkahintaan ja kokonaiskustannuksiin	56
3.6 Teknisten muuttujien yhteisvaikutus	58
3.7 Hankinta-alueen laajentamisen vaikutus ja FOB-hinnan merkitys.....	59
4 Tarkastelu	62
5 Johtopäätökset	68
Kirjallisuus.....	69

KÄSITTEET

Alempi lämpöarvo: aineen energiasisältö määräyksikköä kohti, kun palaminen tapahtuu vakioaineessa eikä syntynyt vesihöyry tiivisty vedeksi, muodossa MJ/kg.

Bunkkeripolttoaine: laivan omaan käyttöön tarkoitettu polttoaine. Tyypillisiä bunkkeripolttoaineita ovat laivapolttoöljy ja korkearikkinen raskaspolttoöljy.

Futuuri: kahden osapuolen välinen sopimus, jossa sitoudutaan tulevaisuudessa ostamaan tai myymään tuote tietyinä hetkenä tiettyyn hintaan.

Hankinnan kokonaiskustannus: metsähakkeen toimitusketjun kaikkien vaiheiden yhteenlasketut kustannukset, muodossa €.

Huoltovarmuus: yhteiskunnan toiminnalle välttämättömien taloudellisten perustoimintojen ylläpitäminen. Energia-alalla huoltovarmuudella tarkoitetaan riittävää tuotantokapasiteettia, terminaalien käytettävyyttä ja toimivaa polttoainehuoltoa esimerkiksi tuontipolttoaineita varastoimalla.

Hyödyke: aineellinen tai aineeton väline, joka tyydyttää ihmisen tarpeita välittömästi tai välillisesti.

Irtolastialus: pakkaamattomia ei-nestemäisiä lasteja kuljettava rahtilaiva.

Kiinteä biopolttoaine: energiapuu, hake ja puupelletit.

Komissio: rahtimeklararin välitys- ja järjestelytoiminnastaan saama maksu, jonka yleensä maksaa laivan omistaja eli varustamo, muodossa % rahtitoimeksiannon kokonaishinnasta.

Kriittinen piste: liiketaloudessa piste, jossa kustannukset ja tuotot ovat yhtä suuret. Tässä tutkimuksessa voimalaitoksen käyttämän kotimaisen metsähakkeen hankintaetäisyys, jonka ylittämiseen verrattuna metsähakkeen tuonti Baltiasta on kannattavampaa.

Käyttöpaikkahinta: loppukäyttäjän voimalaitokselle toimitetun metsähakkeen hankinnan kokonaiskustannukset jaettuna energiayksikköä kohti, muodossa €/MWh.

Metsähake: haketuspaikasta riippumatta suoraan metsästä tulevaa puuta, kuten runkopuu, oksat, latvat ja kannot.

Pitoaika: irtolastialuksen määriteltä ja sovittu käyttöaika, muodossa h.

Rahtimeklari: rahtipalveluita tarjoavien laivavarustamoiden ja rahdin kuljettamista tarvitsevien tahojen välisenä neuvottelu- ja järjestelytahona operoiva toimija.

Satama-aika: irtolastialuksen purkamisen valmisteluun, purkamiseen ja ruuman siivoamiseen varattu aika, muodossa h.

Seisontamaksu: irtolastialuksen sovitun pitoajan ylittäminen, muodossa €/DWT/24 h.

Spot-hinta: tietyllä ajanhetkellä markkinoilla kysynnän ja tarjonnan mukaan muodostunut hinta välittömästi toimitettavissa olevalle hyödykkeelle.

Tiivistymä: irtolastin luontainen tai koneellisesti avustettu kokoonpuristuma, jolloin irtolastialukseen mahtuu kokoonpuristuman verran lisämateriaalia irtolastialuksen nimellisen ruumatilavuuden lisäksi.

Toimitusketju: yrityksen, sen tavarantoimittajat, jakeluorganisaatiot ja asiakkaat yhdistävä ketju, jossa kullakin toimijalla on oma roolinsa. Yhdessä nämä organisaatiot pyrkivät kustannustehokkaaseen lisäarvon tuottamiseen asiakkaille.

Toimituslauseke: tavaran toimittamiseen sisältyvien velvollisuuksien jakaminen ostajan ja myyjän välillä. Kansainvälisen Kauppakamarin ylläpitämä Incoterms 2010 -toimituslausekekokonaisuus on tunnetuin ja yleisimmin käytetty.

Volatiliteetti: hintavaihtelun voimakkuus tietyn ajanjakson aikana.

LYHENTEET

CHP (Combined Heat and Power): yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto.

DWT (Deadweight tonnage): laivan maksimikokonaiskantavuus tonneina sisältäen polttoaineen, tarvikkeet ja lastin.

FOB (Free On Board): Incoterms 2010 -toimituslauseke, jossa myyjä toimittaa ja lastaa tavaran ostajan nimeämään alukseen sovitussa lähtösatamassa ja hoitaa vientimuodollisuudet. Tavara vaihtaa omistajaa lastaamisen jälkeen. Myös vastuut siirtyvät myyjältä ostajalle lastaamisen jälkeen.

i-m³: irtokuutio, haketetun puun tilavuusyksikkö ($1 \text{ i-m}^3 \approx 0,8 \text{ MWh}$).

m³: kiintokuutio, pyöreän tai kiinteän puun tilavuusyksikkö ($1 \text{ m}^3 \approx 2 \text{ MWh}$).

MW: megawatti, tehoyksikkö.

MWh: megawattitunti, energiayksikkö ($1 \text{ MWh} = 3,6 \text{ gigajoule}$).

TWh: terawattitunti, energiayksikkö ($1 \text{ TWh} = 1\,000\,000 \text{ MWh} = 3,6 \text{ petajoule}$).

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Metsähake on merkittävä voimalaitospolttoaine Suomessa ja metsähakkeen käyttöympäristö on vähitellen muuttumassa. Yhtenä syynä tähän muutokseen on kivihiilen yleisyys voimalaitospolttoaineena Suomessa ja sen tuleva kieltäminen. Samansuuntaista keskustelua käydään tällä hetkellä myös turpeen osalta. Vuonna 2018 kivihiilen osuus energian kokonaiskulutuksesta oli noin 31 TWh ja turpeen noin 19 TWh (Tilastokeskus 2019). Nämä muutokset lisäävät metsähakkeen käyttöä.

Metsähakkeen käytön kasvaessa kiristynvä kilpailu kotimaisesta raaka-ainetarjonnasta lisäänee voimalaitosten kiinnostusta tuoda metsähaketta ulkomailta polttoainekustannusten kontrolloimiseksi ja saatavuuden varmistamiseksi. Täten on tärkeää selvittää, millä reunaehdoilla kotimaisen voimalaitoksen on kannattavampaa tuoda metsähaketta ulkomailta kuin kasvattaa kotimaan hankinta-aluetta ja mitä tuonnissa tulee ottaa huomioon.

1.1.1 Ilmastopolitiikka ja tavoitteet

Tutkimuksen taustalla ovat Euroopan Unionin (EU) ilmastotavoitteet ja Suomen ilmastotavoitteet sekä niitä toteuttava kansallinen energia- ja ilmastostrategia (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Suomen ilmastotavoitteita ohjaavat EU:n ilmasto- ja energiapaketit vuosiin 2020 ja 2030 sekä pitkän ajan ilmastostrategia vuoteen 2050 (European Commission 2019a-c).

Suomelle asetettu uusiutuvien energialähteiden käyttötavoite vuoteen 2020 mennessä saavutettiin vuonna 2014, kun uusiutuvien energialähteiden osuus energian loppukäytöstä ylitti 38 % tavoitetason. Samalla Suomi sitoutui vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 2020 mennessä 21 % vuoden 2005 tasosta päästökaupan piirissä olevilla sektoreilla ja 16 % päästökaupan ulkopuolisilla sektoreilla (Ympäristöministeriö 2018a-b). EU:n päästökaupan piirissä ovat energian tuotanto- ja suuret teollisuuslaitok-

set. Päästökaupan ulkopuolella, niin sanotussa taakanjakosektorissa, ovat mukana liikenne, maatalous, rakennusten erillislämmitys, jätteiden käsittely ja eräät teollisuuskäsit. (Ruohomäki & Toivonen 2016).

Päästökauppajärjestelmä pyrkii varmistamaan EU:n talousalueen sisäisten lentojen, teollisuus- ja lämpöteholtaan yli 20 MW energiantuotantolaitosten kasvihuonekaasupäästöjen pysymisen asetettujen maksimimäärien puitteissa. Suomessa päästökauppajärjestelmässä on mukana myös pienempiä kaukolämpölaitoksia. Päästökauppajärjestelmän kattavuus on EU-tasolla yli 40 % ja Suomessa hieman alle 50 % kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. Suomessa päästökauppajärjestelmän toimeenpaneva viranomainen on Energiavirasto ja muita viranomaistehtäviä sekä lainsäädäntötyötä hoitaa Työ- ja elinkeinoministeriö (Energiavirasto 2019b, Työ- ja elinkeinoministeriö 2019).

Päästökauppajärjestelmän tavoitteena on ohjata toimijoita vähentämään päästöjä sieltä, missä se on edullisin toimenpitein tehtävissä tai ohjaamalla toimijat hankkimaan lisää päästöoikeuksia kompensoidakseen kasvihuonekaasupäästöjään. Päästökauppajärjestelmän piirissä olevat toimijat joutuvat seuraamaan ja raportoimaan kasvihuonekaasupäästöjään sekä palauttamaan osaltaan vuosittain edellisen kalenterivuoden kasvihuonekaasupäästöjen verran päästöoikeuksia. Yhden hiilidioksiditonnin voi kuitata yhdellä päästöoikeudella. Osa päästöoikeuksista jaetaan toimijoille ilmaiseksi ja osa huutokaupataan. Päästöoikeuksilla käydään kauppaa koko EU:n alueella, pörssissä ja pörssien ulkopuolella. Päästöoikeuksien hinnat muodostuvat markkinaehtoisesti kysynnän ja tarjonnan mukaan (Energiavirasto 2019b, Työ- ja elinkeinoministeriö 2019).

Vuoteen 2030 mennessä Suomen tulee vähentää kasvihuonekaasupäästöjään 39 % vuoden 2005 tasosta. EU:n vuoden 2030 ilmasto- ja energiapakettiin liittyy myös maankäytön, maankäytön muutokset ja metsät sisältävän sektorin (LULUCF) hiilensidontakyvyn lähtötasomäärittely. Tämän sektorin kasvihuonekaasuja sitovan vaikutuksen ylläpitämiseen ja parantamiseen on sitouduttava. Vaikka Suomelle ei asetettu varsinaista uutta uusiutuvan energian tavoitetta, voidaan Suomelle asettaa sen itse määrittelemiä kansallisia tavoitteita suurempia tavoitteita EU:n kokonaistavoitteiden saavuttamiseksi. Vuoden 2030 ilmasto- ja energiapaketin osana on lisäksi energiankäytön vuotuinen 0,8 % tehostamisvelvoite (Ympäristöministeriö 2018a-b).

EU:n pitkän aikavälin tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 80 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Tämä tavoite on kirjattu myös Suomen ilmastolakiin (Ympäristöministeriö 2018a-b).

Valtioneuvoston selonteossa energia- ja ilmastostrategian poliittisia linjauksia ovat uusiutuvien energialähteiden 50 % käyttötavoite 2020-luvun loppuun mennessä, hiilineutraalius pitkällä aikavälillä, energiaomavaraisuuden parantaminen ja metsähakkeen käyttöön kannustaminen CHP-laitoksissa ja lämmöntuotannossa energiaverotuksen avulla (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Käytännön esimerkkinä energia- ja ilmastostrategian toimeenpanosta on Työ- ja elinkeinoministeriön esittämä kivihiilen käytön kieltäminen ja sanktioiminen vuonna 2029 (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018).

Kivihiilikielto ja kallistuva päästöoikeus pakottaa osaltaan voimalaitoksia vaihtamaan kivihiilen, turpeen ja polttoöljyn ei-fossiilisiin polttoaineisiin. Tämä lisää kilpailua kotimaisen metsähakkeen osalta, jos voimalaitokset suosivat sitä luopuessaan kivihiilestä tai muista mainituista polttoaineista. Tulevaisuudessa kilpailua metsähakkeesta lisänee myös sen käyttäminen esimerkiksi liikenteen biopolttoaineiden valmistuksessa biojalostamoissa.

1.1.2 Metsähakkeen käyttö ja merkitys Suomessa

Vuonna 2018 energian kokonaiskulutus oli 383 TWh ja metsäperäisen energian kokonaisuus oli 104 TWh (Tilastokeskus 2019). Metsäenergian merkityksen voidaan todeta olevan suuri energian kokonaiskulutuksen kannalta. Vuonna 2018 metsähakkeen osuus energian kokonaiskulutuksesta oli 15 TWh (Luonnonvarakeskus 2019). Metsähakkeella on myös laajasti saatavilla olevana ja pääosin kotimaisena voimalaitospolttoaineena merkitystä huoltovarmuuden kannalta. Metsähakkeelle on asetettu 14,5 milj. m³ (29 TWh) vuosittainen käyttötavoite vuoteen 2030 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Vuosina 2014–2018 toteutunut vuotuinen kokonaiskäyttö on ollut 8 milj. m³ tasolla (Luonnonvarakeskus 2019).

Metsähakkeen käytölle CHP-tuotannossa on maksettu syöttötariffijärjestelmään hake-
neille ja siihen hyväksytyille voimalaitoksille muuttuvaa tuotantotukea. Metsähake-
sähkön tuotantotuella pyritään varmistamaan metsähakkeen kilpailukyky CHP-tuotan-
non polttoaineena turpeeseen verrattaessa. Tuotantotuki määräytyy kvartaaleittain tur-
peen verotason ja päästöoikeuden keskiarvohinnan perusteella. Tällä hetkellä turpeen
verotaso on 3 €/MWh. Voimalaitokset, joilla on käytössään kaasutin metsähakkeen
käyttämiseksi pölypolttokattilassa, saavat korotettua tuotantotukea. Metsähakesähkön
tuotantotuki on rajattu 60 %, jos hake on tuotettu jalostuskelpoisesta ainespuusta. 100
% tuen saamiseksi tuen hakijan tulee tarvittaessa pystyä osoittamaan metsähakkeen al-
kuperä määrittelemänsä käytännön mukaisesti (Tilastokeskus 2018b, Energiavirasto
2019a, Finlex 2019).

Tämänhetkiselä turpeen verotasolla, tulisi EU:n päästökauppajärjestelmän hiilidioksi-
ditonin kvartaalikeskiarvohinnan olla noin 20,8 €/tCO₂, jotta tuotantotukea ei makset-
taisi (Energiavirasto 2016, Verohallinto 2018). Korkeampi hiilidioksiditonin hinta pa-
rantaa metsähakkeen käyttäjien maksukykyä puusta turpeen käytön kallistuessa. Tur-
peen käyttö kallistuu sen kasvihuonekaasupäästöjen takia. Päästöoikeuden hinta on
vuoden 2019 aikana vaihdellut noin 7,5-30 €/tCO₂ välillä (Kuva 1).



Kuva 1. Päästöoikeuden €/tCO₂-hinta vuoden 2019 aikana (Intercontinental Exchange 2019).

Anttila *ym.* (2018) mukaan vuosittainen teknisesti hyödynnettävissä oleva kestävä maksimimäärä metsähakkeen raaka-aineille eli energia-/pienpuulle, hakkuutähteille ja kannoille Suomessa olisi noin 28 milj. m³ vuonna 2030. Käyttämätöntä potentiaalia pitäisi olla lähteen mukaan noin 12 milj. m³. Toisin sanoen metsähakkeen käyttötavoitteen saavuttaminen ei riipu raaka-aineen riittävydestä ja spekulatiivisen loppukäyttäjän hankinta-alueen laajentamisen kotimaassa pitäisi olla siksi teoreettisesti mahdollista. Alueellinen saatavuus tosin vaihtelee raaka-ainelajeittain.

Kuitenkin tuodulla metsähakkeella on jo nyt merkitystä energiantuotannon kannalta. Ylitalon (2017) mukaan tuotua metsähaketta käytettiin energiantuotannossa vuosina 2011–2015 keskimäärin noin 0,6 milj. m³ eli noin 1,2 TWh vuodessa. Samana ajanjaksona Suomeen tuotiin puupellettejä 0,2 TWh edestä. Täten voidaan olettaa, että lähialueiden metsähakemarkkinoiden kehityksellä on suomalaisille metsähakkeen käyttäjille suurempi merkitys kuin pellettimarkkinoiden kehityksellä. Toisaalta on muistettava, että osaa metsähakkeen raaka-aineista voidaan käyttää myös pellettien raaka-aineena, jolloin metsähakkeen ja pellettien markkinoita ei voida pitää täysin erillisinä.

1.1.3 Metsähakkeen hinnoittelu, laatu ja laadunvarmistus

Metsähake hinnoitellaan tyypillisesti muodossa euroa per energiayksikkö. Suomessa metsähakkeen hintaa seurataan ja tilastoidaan muodossa €/MWh toimitettuna alemman lämpöarvon mukaan (FOEX 2018, Tilastokeskus 2018b). Alempaan lämpöarvoon perustuvaa hinnoittelutapaa käytetään myös Latviassa ja Liettuaassa (Baltpool 2019). Virossa metsähakkeen hintaa tilastoidaan kuitenkin muodossa €/m³, vaikka hakekauppaa käydään myös €/MWh-muodossa (Riigimetsa majandamise keskus 2019).

VTT:n (2014) puupolttoaineiden laatuohjeiden mukaan metsähakkeesta tai hakkeesta yleisesti tulisi aina testata tai ilmoittaa velvoittavat ominaisuudet eli raaka-aine, palakoko, kosteus saapumistilassa ja tuhkapitoisuus. Esimerkiksi kyllästysainein käsitellylle puulle tulee myös määrittää typpi- ja klooripitoisuudet. Velvoittavien ominaisuuksien lisäksi on opastavia ominaisuuksia, jotka ovat vapaaehtoisia, mutta suositeltavia. Niitä voivat olla alempi lämpöarvo, irtotiheys ja tuhkansulamiskäyttäytyminen. Näiden

ominaisuuksien määrittelyä ja testaamista säätelevät kansainvälisen standardisointijärjestön (ISO) standardit kuten ISO 17225 (VTT 2014).

Metsähaketta käyttävällä voimalaitoksella tulee olla näytteenottosuunnitelma, jossa näytteenoton järjestäminen on määritetty. Näytteitä otetaan tyypillisesti päiväkohtaisesti toimittajittain. Yksittäisistä kuormista näytteitä ottavat joko kuljettaja tai automaattinen, esimerkiksi purkupaikan kuljettimeen integroitu näytteenottojärjestelmä. Näytteiden määrä riippuu kuorman koosta ja päivittäisestä toimittajakohtaisesta kokonaistoimitusmäärästä. Tietyn päivän kuormakohtaisista näytteistä koostetaan kokoomanäyte, jonka pohjalta analysoidaan toimittajalle päiväkohtainen kosteusprosentti. Muut velvoittavat ja opastavat ominaisuudet testataan tyypillisesti kerran kuukaudessa tai tarpeen mukaan (VTT 2014).

1.1.4 Metsien kasvu, hakkuumäärät ja energiajakeiden saatavuus Baltiassa

Baltian maat Viro, Latvia ja Liettua ovat metsäisiä valtioita. Metsien hoidolla ja monipuolisella käytöllä on kyseisissä maissa pitkät perinteet. Metsien vuotuinen kasvu on Virossa noin 15 milj. m³, Latviassa noin 17 milj. m³ ja Liettuaassa noin 18 milj. m³. Vuotuiset hakkuumäärät taasen ovat Virossa ja Latviassa noin 11 milj. m³ ja Liettuaassa noin 9 milj. m³ (Latvian maatalousministeriö 2017, Fern 2018, Viron tilastokeskus 2018, Latvian maatalousministeriö 2019b). Vuotuisia kasvulukuja ja hakkuumääriä tarkastelemalla voidaan olettaa Baltian maiden metsien hyödyntämisen olevan kestävällä tasolla.

Metsäenergiajakeiden osalta maissa tuotetaan ja niistä viedään energiapuuta, metsähaketta ja puupellettejä. Metsäenergiajakeiden vuotuinen vienti on Virossa noin 3 milj. m³ ja Latviasta noin 6 milj. m³ (Estonian Timber 2016, Latvian maatalousministeriö 2019a). Baltian maiden odotetaan pysyvän metsäenergiajakeiden nettoviejinä myös 2020–2050 luvuilla (Lindroos *ym.* 2018). Suppeasti tarkastellun kestävän metsätalouden ja puunkäytön sekä metsäenergiajakeiden vientimäärien perusteella voidaan olettaa, että Baltian maista on mahdollista hankkia nyt ja tulevaisuudessa erilaisia metsäenergiajakeita. Tällöin suomalainen voimalaitos voisi pitää Baltian maita hankintalähteinä ja -alueina.

1.1.5 Kiinteiden biopolttoaineiden kansainvälinen käyttö ja kauppa

Kiinteät biopolttoaineet, kuten metsähake, ovat kansainvälisesti vaihdettuja hyödykkeitä. Yleisimpiä energiahyödykkeitä ovat esimerkiksi öljy, kivihiili, puupelletit ja metsähake. Yleisen taloustieteen teorian mukaan markkinahyödykkeiden hinnat muodostuvat tarjonnan ja kysynnän seurauksena.

Öljy ja kivihiili ovat vakiintuneita energiahyödykkeitä, joiden käyttömäärät ovat globaalisti huomattavia: 37 600 TWh ja 30 300 TWh (BP 2018) vuodessa. Volyymin lisäksi arviointikriteereinä energiahyödykkeen ja sen markkinoiden vakiintumiselle tai kypsyydelle voidaan pitää määriteltyjä laatustandardeja ja testauskäytäntöjä. Esimerkiksi MNL58-standardi öljylle (ASTM International 2013) ja Zhun (2014) luettelemat useat maakohtaiset ja kansainväliset standardit kivihiilelle. Myös taloudelliset kaupankäynti-instrumentit, kuten erilaiset futuurit osoittavat osaltaan energiahyödykkeen ja sen markkinoiden kypsyysastetta (Intercontinental Exchange 2018a-b).

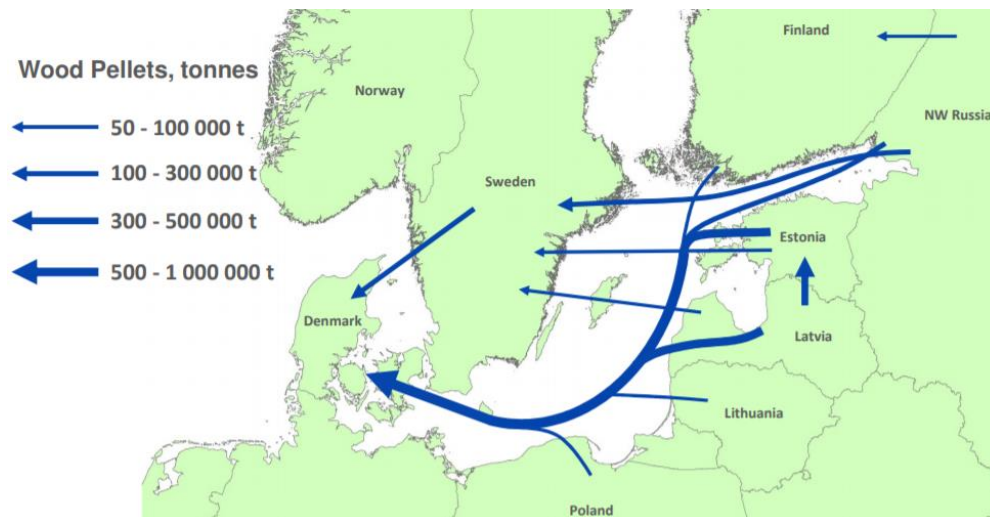
Puupellettien käyttö on huomattavasti öljyä ja kivihiiltä pienempää, noin 140 TWh vuodessa (Proskurina *ym.* 2018), mutta puupellettien käyttö on energiasisältöjä verrattaessa suurempaa kuin metsähakkeen vuotuinen 72 TWh (Wood Resources International 2017). Puupellettejä voidaan pitää metsähaketta kehittyneempänä ja vakiintuneempana hyödykkeenä myös taloudellisten kaupankäynti-instrumenttiansa, kuten futuurien, takia (European Energy Exchange 2018). Metsähake on kuitenkin saavuttanut puupellettejä kansainvälisesti määriteltyjen laatustandardien osalta, kun GoodChips-laatustandardi julkaistiin vuoden 2018 lopulla (Bioenergy Europe 2018). Puupelleteillä kansainvälisiä laatustandardeja, kuten ENplus (ENplus 2018), on ollut jo pidempään käytössä.

Metsähakkeen ja pellettien hyödykestatuksen kehittymisen lisäksi myös niiden kauppatavat ovat monipuolistuneet Itämeren alueella. Liettuassa otettiin 2012 käyttöön Baltpool-biomassapörssi, joka pyrkii lisäämään kilpailua ja kaupankäynnin läpinäkyvyyttä (Baltpool 2018). Sittemmin sama pörssimuotoinen kaupankäyntialusta on otettu käyttöön myös Tanskassa nimellä Biomasspool (Biomasspool 2018). Myös Suomessa on

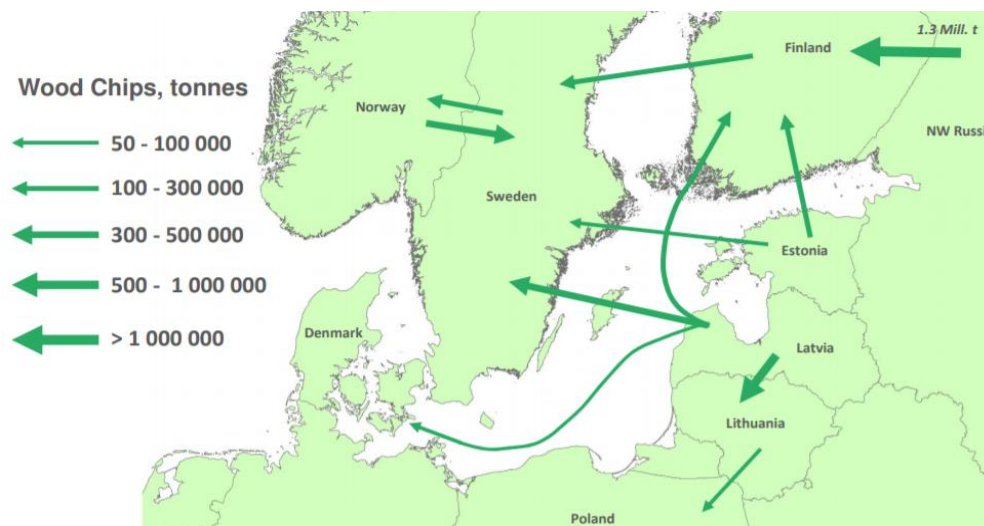
julkaistu Baltpool-kaupankäyntialustaan perustuva bioenergian sähköinen markkina-paikkahanke Finbex (Finbex 2019). Valko-Venäjällä metsähakkeella ja pelleteillä käydään kauppaa yleisessä hyödykepörssissä (Belarusian Universal Commodity Exchange 2019). Pörssimuotoinen kaupankäynti etenee myös Venäjällä. Meždunarodnaja bio-energetika (2018) mukaan vuoden 2018 aikana kauppaa käytiin pyöreällä puulla ja sahataravalla sekä suunnitelmissa on avata kaupankäynti lähitulevaisuudessa myös puupelletille, briketeille ja hakkeelle.

Mustonen *ym.* (2017) arvioivat Itämeren alueen raakapuun nimellisiä tienvarsihintoja vertailemalla, että alueen maiden markkinat ovat sidoksissa toisiinsa. Pörssimuotoisen kaupankäynnin lisääntyminen ja metsähakkeen kasvava käyttömäärä voivat tulevaisuudessa johtaa alueen yhä syvempään markkinaintegraatioon ja osaltaan edesauttaa kansainvälisen metsähakekaupan kasvua. Lisääntyvä markkinaintegraatio kytkisi Suomen metsähakemarkkinat muihin käyttäjä- ja tuottajamaihin entistä tiiviimmin. Tämä kytkeytyminen oletettavasti aiheuttaisi painetta kotimaisten hintojen nykyiselle joustamattomuudelle (Kuva 4).

Tällä hetkellä Itämeren alueen pellettivirrat kulkeutuvat erityisesti Latviasta, Virosta ja Venäjältä Tanskaan ja Ruotsiin (Kuva 2). Pellettejä liikkuu myös Latviasta Viroon. Hakevirrat kulkeutuvat vähemmän keskitetysti ja useampiin suuntiin (Kuva 3). Merkittävä hakevirta suuntautuu Venäjältä Suomeen. Muut hakevirrat liikkuvat Virosta ja Latviasta Suomeen ja Latviasta Ruotsiin. Latviasta Liettuaa suuntautuva virta kertoo toisaalta Baltpool-pörssin houkuttelevuudesta.

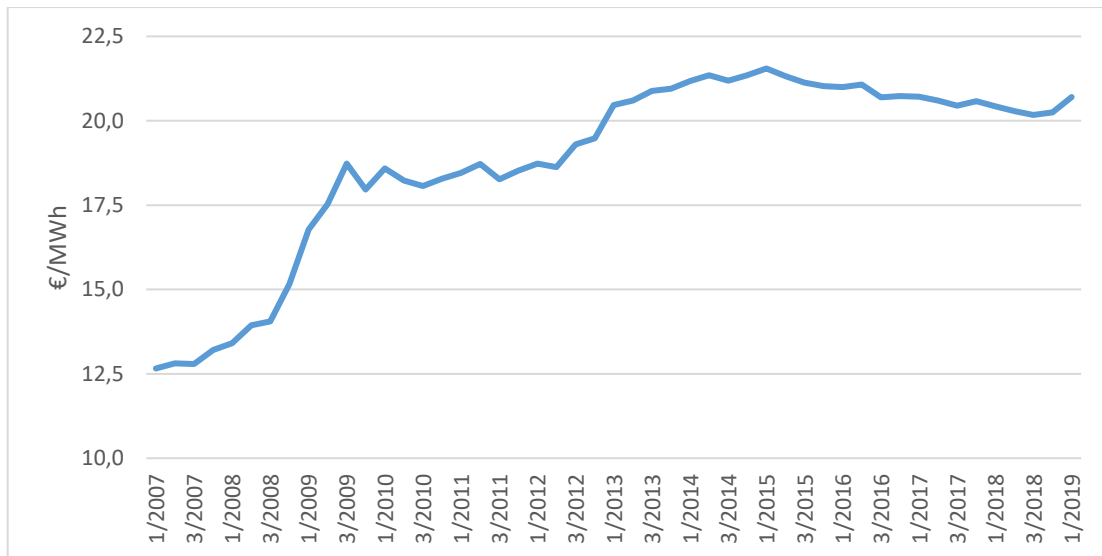


Kuva 2. Itämeren alueen pellettivirrat tonneina (Pekkanen & Stewart 2017). Merkittävimmät suunnat ovat idästä länteen lähtien Baltiasta ja Venäjältä ja päätyen Tanskaan ja Ruotsiin.

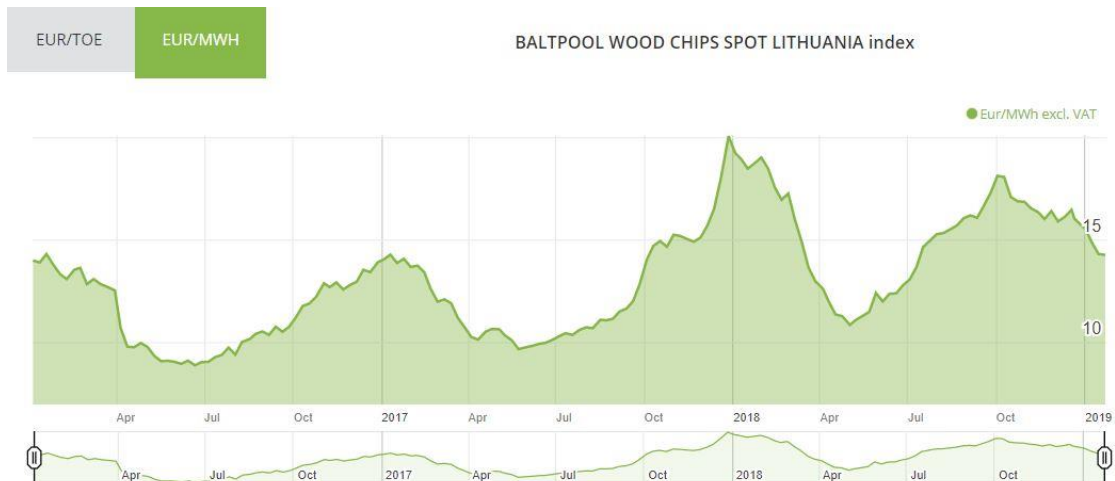


Kuva 3. Itämeren alueen hakevirrat tonneina (Pekkanen & Stewart 2017). Merkittävimmät suunnat ovat Venäjältä Suomeen, Norjan ja Ruotsin välillä sekä Latviasta Ruotsiin ja Liettuaan.

Suomessa metsähakkeen hinta on kehittynyt vuosina 2007–2019 varsin vakaasti eikä markkinoita voi kuvata erityisen volatiileiksi tai joustaviksi (Kuva 4). Taustalla on muun muassa puumarkkinoilla yleisesti vallitseva oligopoli, mikä yrittää stabiloida hintakehitystä ja pyrkii asettamaan metsäteollisuusyritysten näkökulmasta raaka-aineelle sopivan hintatason. Latvian ja Liettuan sisämarkkinoiden hintataso sitä vastoin on vuosien 2016–2019 aikana vaihdellut selvästi joustavammin muuttuvan kysynnän ja tarjonnan myötä (Kuva 5).



Kuva 4. Metsähakkeen käyttöpaikkahinta Suomessa vuosineljänsittäin 1/2007-1/2019 (Tilastokeskus 2018b).



Kuva 5. Baltpool-biomassapörssin hakkeen spot-hintaindeksin (€/MWh) kehitys vuosina 2016–2019 (Baltpool 2019).

1.1.6 Merilogistiikka

Merirahti on välttämätön osa kansainvälistä kiinteiden biopolttoaineiden kauppaa. Rah-tialukset ovat käytännössä ainoa tapa liikuttaa tavaraa mantereiden ja muiden merialu-eiden erottamien maiden välillä. Tästä syystä merirahdilla ja sen kustannuksilla on erit-täin suuri merkitys metsähakkeen tuontitoimitusketjun kannalta.

Merirahdin kysyntään vaikuttavat maailmantalouden kehitys, meritse tapahtuva tavara-kaupan volyymi, keskimääräinen kuljetusmatka, mahdolliset talouslamat, öljykriisit ja kuljetuskustannukset. Kiinteiden biopolttoaineiden merirahdin haasteina ovat muut kuljetettavat tuotteet markkinoineen, tavaravirtojen epätasaisuus ja -luotettavuus, satamainfrastruktuurin puutteet, menopaluu-kuljetusten vähäisyys ja kuljetettavan tuotteen ominaisuudet, kuten metsähakkeella alhainen irtotiheys (Bradley *ym.* 2009, Similä 2012). Kiinteän biopolttoaineen irtotiheys vaikuttaa suoraan lastin ja energiasisällön määrään ja siten kuljetuskustannuksiin toimitettua energiayksikköä kohti (€/MWh).

Merirahtimarkkinat jakautuvat linjaliikenteeseen, aikarahtiin ja matkarahtiin. Linjaliikenne on säännöllistä ja aikataulutettua liikennettä tietyllä reitillä. Aikarahtauksessa lastin antaja vuokraa laivan varustamolta ja maksaa oikeudesta käyttää laivaa tietyn ajan. Matkarahdissa lastin antaja maksaa vain kuljetuspalvelusta paikasta A paikkaan B tavallisesti tonniperusteisesti (€/t). Matkarahti voidaan hinnoitella myös muodossa €/aluksen ruumakuutio ja se voi sisältää sopimuksen useista tai säännöllisistä lasteista (Stopford 1997). Tässä tutkimuksessa merirahtia käsitellään matkarahtina kertaluonteisuutensa takia.

Kiinteiden biopolttoaineiden laivaustarpeen vaihtelevuus suosii alusten matkarahtaimista ja rahtimeklareiden hyödyntämistä (Bradley *ym.* 2009). Rahtimeklarit saattavat komissiota vastaan yhteen varustamoita ja lastin antajia kilpailukykyisen lastin ja kuljetusratkaisun löytämiseksi. He myös ylläpitävät keskusteluyhteyttä toimijoiden välillä, auttavat varustamoita löytämään menopaluu-kuljetuksia tyhjänä ajon välttämiseksi, tuottavat markkinainformaatiota ja voivat tehdä alushankintoja toimeksiantoina (Suomen Laivameklariliitto 2019).

Merirahti voidaan jakaa kahteen kategoriaan: nestemäiseen rahtiin ja kuivarahtiin. Eri-tyyppiset lastit tarvitsevat erilaisia laivoja ja tästä syystä rahtilaivat voidaan jakaa eri tyyppisiin aluksiin. Näitä alustyyppisiä ovat esimerkiksi tankkerit, irtolastialukset (Kuva 6), kappaletavara-alukset ja konttialukset. Edellä mainittujen alustyyppien lisäksi työntö- ja puskuproomit ovat käyttökelpoisia aluksia rannikkoalueilla. Tankkereilla kuljetetaan tyypillisesti öljyä tai sen jalosteita ja muita nestemäisiä polttoaineita.

Tyypillisintä kuivarahtia ovat hiili, rautamalmi, bauksiitti, fosfaatti ja vilja. Myös pelletit ja metsähake lasketaan kuivarahdiksi (Ghazanfari 2008, Bradley *ym.* 2009, Similä 2012).



Kuva 6. Irtolastialus kuljettamassa raakapuuta (Hagland 2019).

Rahtilaivojen kokonaiskantavuus vaihtelee pienistä 1 000 DWT aluksista aina massiivisiin yli 200 000 DWT aluksiin. Suurilla aluksilla kokonaiskustannusten määrä on suurempi kuin pienillä aluksilla, mutta kulut per DWT ovat pienemmät kuin pienemmillä aluksilla. Suurempi koko toisaalta rajoittaa sopivien satamien ja reittien määrää. Kiinteitä biopolttoaineita tulisi rahdata isoimmalla mahdollisella aluksella satama- ja reittirajoitteet, kuten laiturien pituus ja väylän syvyys, huomioiden yksikkökustannukset per DWT ja siten per MWh minimoiden (Bradley *ym.* 2009, Enström 2015).

Aluksen ruumatilavuuden kasvu 50 % ($10\,000\text{ m}^3 \rightarrow 15\,000\text{ m}^3$) voi nostaa aluskustannuksia jopa 30 %, koska aluksen polttoaineenkulutus, satama- ja väylämaksut ovat suuremmat. Aluksen koon kasvu voi lisätä lastauskustannuksia, koska lastaaminen kestää pidempään kuin pienemmällä aluksella. Kuitenkin 50 % suurempi hakelasti laskee kokonaiskustannuksia noin 13 %. Ruumatilavuuden kasvu ja kustannukset käyttäytyvät esimerkin tavoin aina $20\,000\text{ m}^3$ kokoon asti. Itämerellä yleisimmät alukset ovat ruumatilavuudeltaan alle $12\,000\text{ m}^3$ (Bradley *ym.* 2009, Enström 2015). Similä (2012) esittää tyypillisen irtolastialuksen hakekapasiteetiksi $1,3\text{ m}^3/\text{DWT}$.

Normaalin meritse tapahtuvan rahtitoiminnan kustannukset voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan: pääoma-, operointi- ja matkakustannuksiin. Pääomakustannuksia ovat laivainvestoinnin rahoituskulut, jotka ovat yleensä noin 40 % kokonaiskustannuksista. Operointikustannuksia ovat miehistön palkat, tarvikkeet, huolto, korjaukset, voiteluaineet, vesi ja välilliset kustannukset kuten vakuutukset ja hallinnointikulut, mitkä ovat yleensä noin 25 % kokonaiskustannuksista. Matkakustannuksia ovat satamamaksut ja bunkkeripolttoainekustannukset, mitkä ovat yleensä noin 35 % kokonaiskustannuksista (Stopford 1997). Bradley *ym.* (2009) mukaan bunkkeripolttoainekustannusten kaksinkertaistuminen nostaa rahdin kokonaiskustannuksia 30 %. Polttoainekustannukset ovat täten erittäin merkittävä muuttuva kustannustekijä. Viimeisen vuoden aikana laivapolttoöljyn hinta on vaihdellut 680-820 \$/t välillä (Kuva 7).



Kuva 7. Bunkkeripolttoaineena käytettävän laivapolttoöljyn \$/t hintavaihtelu 10/2018–10/2019 aikana (Bunker Index 2019).

Merirahdin kokonaisvaltainen kustannustehokkuus vaatii, että satamissa tapahtuva lastaaminen ja purkaminen ovat tehokkaita ja toimivia työvaiheita. Yleensä toimitusketjun eri vaiheissa käytetään erilaisten lastaus- ja purkumenetelmien ja koneiden yhdistelmiä, kuten materiaalikäsittelykoneita, kauhakuormaajia, kuljettimia tai satamanostureita sekä alusten omia nostureita (Ghazanfari 2008). Myös puhallus- ja imutehoon perustuvia järjestelmiä ja laitteita käytetään.

Materiaalikäsittelykoneet ovat yleisiä hakkeen lastaamisessa ja purkamisessa. Materiaalikäsittelykone voidaan varustaa joko kahmarilla tai kouralla. Tyypillisenä materiaalikäsittelykoneen lastauskapasiteettina voidaan pitää 180 t/h (450 i-m³/h) ja purkukapasiteettina 140 t/h (350 i-m³/h) työvuorossa sisältäen keskeytykset. Optimitilanteessa irtolastialuksen hakelasti puretaan suoraan syöttökuljettimelle tai hakeautoon jatkokuljetusta varten, mutta tarvittaessa hake voidaan purkaa myös laiturille (Enström 2016).

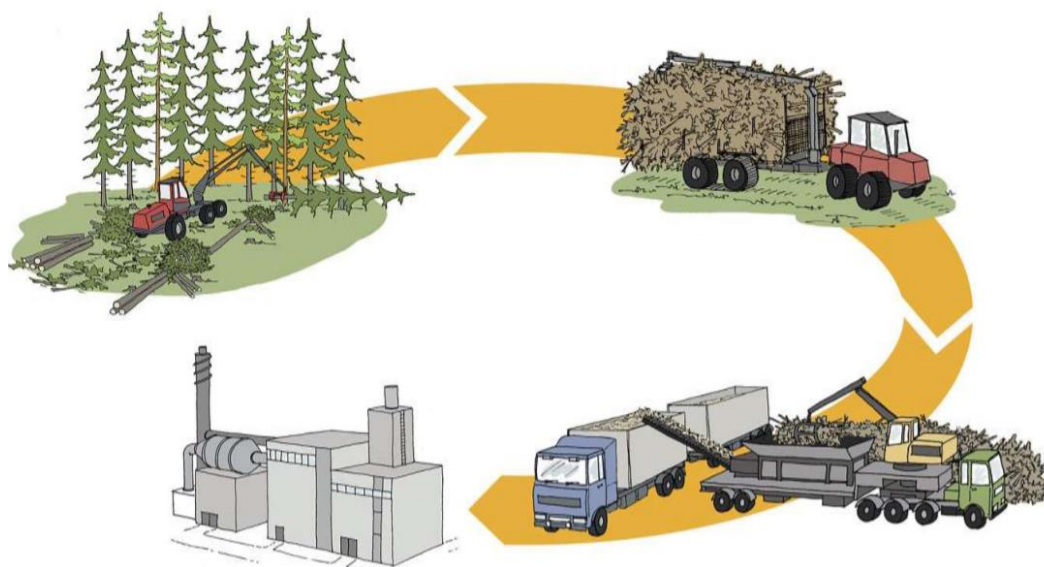
Lastin tiivistäminen lisää metsähakkeen kuljetusten kustannustehokkuutta, mutta kunollinen tiivistäminen vaatii ruumatilaan nostettavan koneen, esimerkiksi kauhakuormaajan (Karttunen *ym.* 2012). Tiivistymälle ei ole yhtä selkeää ja yleisesti käytettyä vakiintunutta arvoa tai mallia. Metsähakkeen energiasisältöä oli mahdollista kasvattaa koneellisesti tiivistämällä 9 % (Karttunen *ym.* 2012). Enströmin (2015) mukaan koneellinen tiivistäminen voi mahdollistaa 25 % lastaustilavuuden aluksen ruumatilavuuden lisäksi. Huhtinen (2017) laski 5-15 % tiivistymällä autokuljetuksen kannattavuuden kehittymistä ja testasi käytännössä kahta erilaista lastausmenetelmää saaden 3-7 % tiivistymän.

1.2 Aiemmat tutkimukset metsähakkeen toimitusketjuista

Kotimaisia metsähakkeen toimitusketjuja on tutkittu runsaasti eri näkökulmista, kuten kotimaisen metsähakkeen tuotantotavat (Strandström 2018), toimitusketjut (Sikanen *ym.* 2016), toimitusketjujen kehittäminen (Laitila *ym.* 2010), metsähakkeen käyttö (Nummelin *ym.* 2014) sekä metsähakkeen laadunhallinta (Ikonen *ym.* 2013).

Tuontipuun ja -hakkeen osalta kotimaiset tutkimukset ja muut selvitykset ovat keskittyneet pääosin Venäjän tuontiin (Mutanen *ym.* 2005, Kymäläinen *ym.* 2007, Jutila *ym.* 2010, Goltsev *ym.* 2011, Mutanen & Viitanen 2017). Laajemmin puukauppaa ja tuontia Itämeren alueella ovat käsitelleet esimerkiksi Hautamäki *ym.* (2012) ja Hänninen *ym.* (2017). Pelkästään Baltiasta tapahtuvaan raakapuun ja metsähakkeen tuontiin keskittyvää tutkimusta ei Suomessa ole tehty.

Suomessa on vakiintunut neljä erilaista metsähakkeen tuotanto- ja toimitusketjua, joissa määrittävänä tekijänä on haketuspaikka. Haketus voi tapahtua palstalla, tienvarressa (Kuva 8), terminaalissa tai käyttöpaikalla käyttäen laikka-, rumpu- ja kartioruuvihakuria. Terminaalissa ja käyttöpaikalla voidaan käyttää myös järeämpiä mobiili- tai käyttöpaikkamurskaimia (Laitila *ym.* 2010, Putula & Hilli 2017). Tienvarsihaketus on ollut kaikkia raaka-aineita tarkasteltaessa yleisin haketusmuoto viime vuosina, ja palstahaketus on menettänyt merkityksensä laajamittaisemmassa tuotantotoiminnassa (Strandström 2018).



Kuva 8. Metsähakkeen tuotantoketju, kun haketus tapahtuu tienvarressa erillisillä hakkuri- ja haakeautoilla. Työvaiheita ovat ainespuun korjuu, lähikuljetus tienvarsivarastolle, haketus tienvarsivarastolla ja kuljetus käyttöpaikalle (Kärhä 2008).

Tienvarsihaketus toimitusketjuineen on niin sanottu kuuma ketju eli työvaiheet ja koneet ovat toisistaan riippuvaisia. Kuuma ketju vaatii tarkkaa suunnittelua ja koordinoimista toimiakseen saumattomasti. Kylmässä ketjussa erilliset työvaiheet eivät ole toisistaan riippuvaisia, kuten kuumassa ketjussa eikä kylmä ketju vaadi yhtä suuria teknologiainvestointeja tai yhtä tarkkaa operatiivista suunnittelua (Belbo & Talbot 2014). Tuontihakkeella voidaan nähdä olevan molempien toimitusketjujen piirteitä, koska prosessin osavaiheet ovat toisistaan riippuvaisia kustannusten hallinnan kannalta, mutta aikajänne on pidempi kuin pelkällä tienvarsihaketuksella ja pikaisella käyttöpaikalle kuljetuksella.

Suomessa metsähakkeen tyypilliset kuljetusratkaisut ovat autokuljetus hakeautoilla ja junakuljetus, mutta Saimaan alueella myös aluskuljetus. Tilavuudeltaan 120-140 i-m³ ajoneuvoyhdistelmällä autokuljetuksen kannattava maksimietäisyys käyttöpaikalle on metsähakkeen osalta noin 100-150 km (Laitila *ym.* 2011, Korpilahti 2012). Keskimääräinen metsähakkeen autokuljetusmatka oli vuosina 2010–2017 noin 60 km (Venäläinen *ym.* 2016, Tilastokeskus 2016–2018c).

Terminaalissa tuotetun metsähakkeen käyttöpaikkahinta koostuu kantohinnasta (24 %), korjuusta (27 %), puun autokuljetuksesta (10 %), haketuksesta (19%), hakkeen kuormauksesta (4 %), hakkeen kuljetuksesta (14 %) ja muista kustannuksista (2 %). Eri työvaiheissa polttoaineenkulutuksen osuus kustannuksista on vaihdellut 17-25 % välillä (Varis 2014).

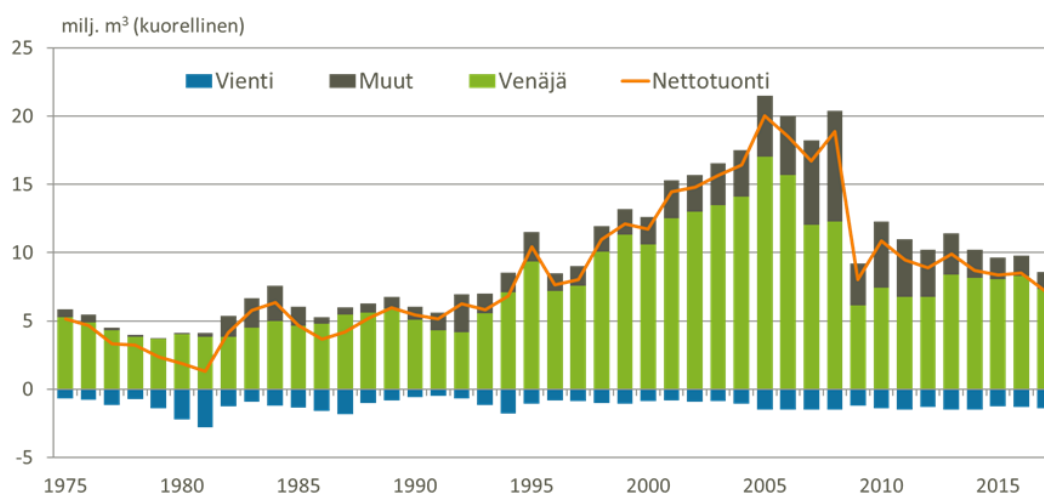
Metsähakkeen laadusta sovitaan sen loppukäyttäjän eli ostajan ja varsinaisen tuottajan tai myyjän kesken sopimusneuvotteluiden yhteydessä. Loppukäyttäjät maksavat hakkeesta energiasisällön mukaan, joten kosteus on tärkein yksittäinen laatutekijä koko tuotantoketjua ajatellen. Muita tärkeitä laatutekijöitä ovat palakoko ja epäpuhtaudet, mutta myös toimitusketjun toimintavarmuutta painotetaan (Ikonen *ym.* 2013).

Suomi on ollut merkittävä puuntuojaja ja puunvientikohde jo pidempään, etenkin Venäjälle. Mutanen *ym.* (2005) tutkivat Venäjän metsäresursseja, tuotantoa sekä raakapuun ja sahatavaran vientiä. Heidän mukaansa Suomi oli 2000-luvun taitteessa Venäjän merkittävin eurooppalainen vientikohde. Venäjän tuolloisesta eurooppalaisesta havupuuviennistä noin 70 % ja lehtipuuviennistä noin 80 % suuntautui Suomeen.

Venäläisen teollisuus- tai energiahakkeen tuontia on harjoitettu mittavien metsäresursien, runsaasti energiapuuta tuottavien hakkuukäytäntöjen ja hakkeen paikallisen käytön vähyyden mahdollistaman tarjonnan sekä hakkeen hyvän laadun vuoksi. Hakkuukäytännöillä tarkoitetaan leimikon kokonaisvaltaista korjuuta, jossa kaikki kaadetaan. Hyvä laatu nähtiin myös selittävänä tekijänä sille, miksi käyttöpaikkahinnaltaan kalliimpaa tuontihaketta käytettiin edullisemman kotimaisen hakkeen sijaan. Merkittävin laatutekijä oli luontaisesti kuivunut järeämpi raaka-aine (Kymäläinen *ym.* 2007).

Puun tuonti Venäjältä väheni ja muuttui rakenteeltaan vuoden 2006 jälkeen, kun pyöreän puun vientitullit nousivat portaittain. Tullipolitiikan tavoitteena oli edistää paikallisen metsäteollisuuden tuotannon monipuolistumista ja metsäsektorin uudistumista tekemällä pyöreän puun viennistä kannattamatonta. Tullien suunniteltu merkittävä nostaminen vaiheittain lykkääntyi useampaan otteeseen. Tullitasot kuitenkin nousivat ajan mittaan ja vähensivät tuntuvasti pyöreän puun vientiä, mikä johti jalostetuksi puutavaraksi ja siten tullittomaksi luokitellun hakkeen viennin kasvuun vuodesta 2008 alkaen (Jutila *ym.* 2010).

Venäläisen tuontipuun suuri osuus Suomeen tuodusta puusta ja sen määrässä tullien myötä tapahtunut lasku näkyy selvästi myös Kuvassa 9, jossa tuontipuun määrä laskee selvästi vuoden 2005 noin 17 milj. m³ vuoden 2009 noin 6 milj. m³. Nettotuonti väheni maailmanlaajuisen taantuman iskettyä suomalaiseen metsäteollisuustuotantoon ja siten puunkäyttöön (Kuva 9).



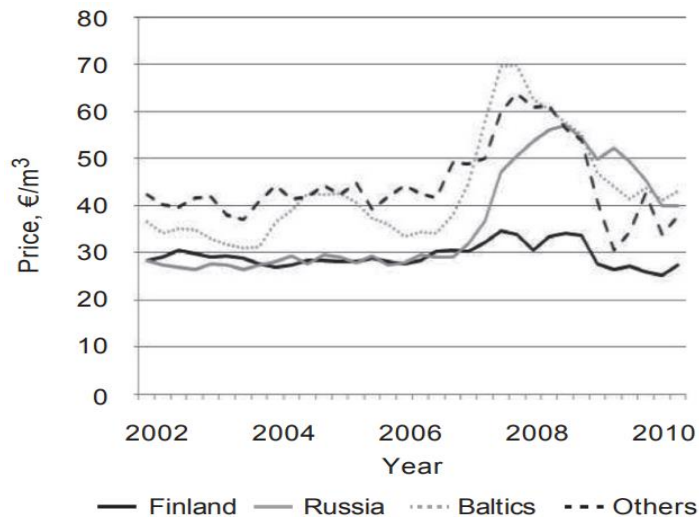
Kuva 9. Raakapuun vienti, tuonti ja nettotuonti vuosina 1975–2017. Venäläisen tuontipuun osuus laskee vuosittain vuosina 2005–2009 (Islander 2019).

Tuontimäärien lisäksi aiempien selvitysten näkökulmana on ollut myös venäläisen hakkeen autotoimitusketjut. Goltsev *ym.* (2011) vertailivat suomalaisen haketoimitusketjun ja tuontitoimitusketjun tehokkuutta ja kustannuksia. Suomalaisen haketoimitusketjun osalta kuljetuskustannukset muodostivat noin 23 % kokonaiskustannuksista, kun tuontitoimitusketjun osalta ne olivat noin 26 %. Kustannuseroa selittivät maakohtaiset erot

ajonopeuksissa, ajoneuvojen koossa ja kuljetukseen kuluvaan kokonaisajassa. Hakeautolla tapahtuvassa hakkeen tuonnissa tuontitoimitusketju oli monivaiheisempi kuin kotimainen toimitusketju esimerkiksi raja- ja tullimuodollisuuksien takia.

Suomalaisten kantohintojen kytkeytymistä venäläisen puun rajatoimitushintoihin Suomen ja Venäjän välisellä rajalla ovat tutkineet Mutanen & Viitanen (2017). Heidän mukaansa muutokset suomalaisissa kantohinnoissa ovat vaikuttaneet venäläisen puun hintaan maiden väliselle rajalle toimitettuna. Etenkin havutukkien kotimainen hintakehitys näkyi venäläisen puun rajatoimitushintojen nopeana nousuna ja laskuna vuosina 2006–2009. Samalla tulee muistaa puutullien muutosten ajoittuminen samalle ajanjaksolle. Tukeutuen aiempiin Itämeren alueelle keskittyviin tutkimuksiin Mutanen & Viitanen (2017) päättävät Suomen puumarkkinoiden olevan hintavaihteluiden osalta alueellinen johtaja ja hintakehityksen levinneen Suomesta muihin maihin eikä päinvastoin. Hakkeen osalta vastaavaa tarkastelua ei ole kuitenkaan tehty.

Hautamäki *ym.* (2012) laajensivat tuontipuun tutkimuksen näkökulmia tutkiessaan tuontikuitupuuta kotimaisen puunhankinnan korvaajana ja täydentäjänä. Erityisesti venäläinen koivukuitupuu on ollut suomalaiselle metsäteollisuudelle tärkeä raaka-aine. Tutkimuksessa otettiin huomioon myös tuonti muista maista paikallisten tai alueellisten hintojen noustessa. Esimerkiksi hintojen nousu Baltiassa käänsi tuonnin osittain siirtänyt painopistettä takaisin kohti Venäjää ja osittain kohti Ruotsia tarkasteluajanjaksolla 2002–2010. Tutkimukseen kootut tukki- ja kuitupuun hinnat tukevat havaintoja Suomen ja muiden maiden puumarkkinoiden volatilitteetti- ja joustavuuseroista (Kuva 10). Esimerkiksi kuusikuitupuun hinta on Suomessa ollut staattisempi kuin Venäjällä, Baltiassa ja muissa Itämeren alueen maissa vuosina 2002–2010.



Kuva 10. Kuusikuitupuun hintavaihtelu Suomessa, Venäjällä, Baltiassa ja muissa Itämeren alueen maissa vuosina 2002–2010, yksikkönä €/m³ (Hautamäki *ym.* 2012).

Markkinaintegraatiota käsitelleet Hänninen *ym.* (2017) esittävät Itämeren alueen ranta-valtiot eli Norjan, Ruotsin, Tanskan, Saksan, Puolan, Baltian maat, Luoteis-Venäjän ja Suomen yhtenä laajana puumarkkina-alueena, jossa muutokset yhdessä maassa vaikuttavat toisissa maissa puuvirtojen muuttuessa. Heidän mukaansa näitä maita voidaan pitää yhtenä alueena myös metsäteollisuuden lopputuotemarkkinoiden ja sääntely-ympäristön muutosten näkökulmista. Hintakehityksen osalta heidän havaintonsa ovat samansuuntaisia kuin Hautamäen *ym.* (2012) esittämät. Tutkimuksessa Suomen hintakehitys on ollut verrokkimaiden jäykintä. Suomeen suuntautuvien puuvirtojen osalta venäläisen koivukuitupuun merkittävä virta ja Baltian maista tapahtuva havukuitupuun tuonti nostettiin esiin.

1.3 Tutkimustehtävän määrittely

Tässä tutkimuksessa vertaan kahta erilaista metsähakkeen hankinta- ja toimitusketjua. Hankinta- ja toimitusketjut ovat irtolastialuskuljetukseen perustuva tuontitoimitusketju ja kotimainen tienvarsihaketukseen perustuva autotoimitusketju. Erityisesti tarkastelen tuontitoimitusketjun kustannusrakennetta, kustannustekijöiden merkityksellisyyttä ja kokonaiskustannustasoa. Tutkin myös, miten tekniset muuttujat eli merirahdissa käytettävän irtolastialuksen kapasiteetti, lastin tiivistymä, jatkokuljetusetäisyys määräsata-masta ja käytössä olevien hakeautojen määrä vaikuttavat tuontihakkeen käyttöpaikka-hintaan ja toimitusketjun kokonaiskustannuksiin.

Tuontitoimitusketjun teknisten muuttujien vaikutusta on syytä tutkia, koska esimerkiksi aluksen kuljetuskapasiteetilla ja lastin koolla on oletettavasti merkitystä purkukustannuksien ja mahdollisen loppukäyttäjälle tapahtuvan jatkokuljetuksen kustannuksien osalta. Samalla lastin mahdollinen koneellinen tiivistäminen ja siten tiivistymä vaikuttavat kuljetettavan lastin kokonaismäärään ja merirahdin kustannuksiin energiayksikköä kohti.

Näkökulmanani on tilanne, jossa suomalaisen metsähaketta käyttävän voimalaitoksen hankintamäärät kasvavat tai alueellinen kilpailutilanne kiristyy, jolloin tuontivaihtoehdon tarkastelu voisi olla ajankohtaista. Hankintamäärät voivat kasvaa loppukäyttäjän investoidessa suurempaan tuotantokapasiteettiin tai vaihtaessa voimalaitoksen polttoainetta. Kilpailutilannetta voivat kiristää muiden lähialueen metsähakkeen käyttäjien toimet tai uudet investoinnit esimerkiksi biojalostamotoiminnan muodossa.

Tutkimusasetelmana on kahden hankinta- ja toimitusketjun vaiheiden ja kustannustekijöiden sekä niiden merkittävyyden vertailu. Vertailu tehdään tuontitoimitusketjun kokonaiskustannusten kriittisen pisteen löytämiseksi kotimaan hankinta-alueen laajentamiseen ja siitä johtuviin kustannuksiin verrattuna.

Työni tutkimusote on kvantitatiivinen, mutta se sisältää myös kvalitatiivisia elementtejä. Olen valinnut kvantitatiivisen tutkimusotteen, koska selvitettävät ja tutkittavat kustannustekijät sekä tehtävien laskelmien lopputulokset ovat numeerisia arvoja. Kvalitatiivisia elementtejä ovat kustannustekijöiden arviointi ja valinta, niiden toiminnallisten riippuvuussuhteiden arviointi ja kuvaaminen sekä aineiston osittainen hankkiminen toimija- ja asiantuntijahaastatteluin.

Tutkimus rajataan suomalaisten voimalaitosten käyttämään metsähakkeeseen ja tuontihakkeen oletetaan tulevan Baltiasta. Rajausta metsähakkeeseen on perusteltavissa sen yleisellä tunnettuudella ja käytettävyydellä sekä käyttömäärien suuruutena voimalaitospolttoaineena. Rajausta Baltian alueelle keskittymiseen on perusteltavissa alueellisella metsähakkeen saatavuudella ja koska alueelta tapahtuva pyöreän puun ja metsähakkeen tuonti on vakiintunutta toimintaa.

Tutkimuksen rajaamista tuonnin osalta Baltiaan puoltaa myös Itämeren ja siten Baltian alueella käytettävien irtolastialusten keskimääräinen koko, kapasiteetti ja saatavuus. Irtolastialusten keskimääräinen kokonaiskantavuus Itämerellä on 1 000-10 000 DWT ja alusten keskimääräinen kapasiteetti on 2 000-13 000 m³. Kyseisen kokoluokan alusten lukumäärän myötä niiden oletettu saatavuus on hyvä (Meriaura 2018, Prima Shipping 2018, AtoB@C 2019, ESL Shipping 2019, Wagenborg 2019).

Tuotavan metsähakkeen alkuperämaan osalta tarkastelu aloitetaan lähtösatamasta ja irtolastialukseen lastatusta metsähakkeesta. FOB-hinnoittelu on yleinen myyntitapa metsähakkeen osalta esimerkiksi Baltiassa (Naciscionis 2015). Tässä tutkimuksessa ei oteta kantaa metsähakkeen tarkempaan alkuperään tai koostumukseen esimerkiksi korjuualueen, hakkuutavan, eri raaka-ainejakeiden tai rungonosien osalta.

1.4 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteita ovat:

1. Lisätä ymmärrystä kotimaisten voimalaitosten taloudellisista vaikuttimista metsähakkeen mahdollisen tuonnin kannalta.
2. Tuoda esiin uutta tietoa meritse kuljetettavan tuontihakkeen toimitusketjusta ja sen kustannustekijöistä sekä siitä, miten nämä kustannustekijät vertautuvat kotimaan toimitusketjun vastaaviin.
3. Tutkia tuontihakkeen toimitusketjun kustannustekijöiden osuutta ja merkitystä toimitusketjun käyttöpaikkahinnan kannalta.
4. Selvittää, miten tekniset muuttujat vaikuttavat tuontitoimitusketjun käyttöpaikkahintaan ja kokonaiskustannuksiin.

Tutkimuksen tutkimuskysymykset ovat:

1. Missä tilanteessa voimalaitoksen on kannattavampaa hankkia metsähaketta ulkomailta kuin laajentaa kotimaan hankinta-aluetta.
2. Kuinka suuri irtolastialuksen kapasiteetti voi olla, jotta purkuaika ja -kustannus sekä jatkokuljetuskustannus pysyvät mahdollisimman alhaisina.
3. Mikä on lastin tiivistymän vaikutus edellä mainittuihin kustannuksiin.
4. Mikä on tuontihakkeen keskimäärin pisin kannattava jatkokuljetusetäisyys määräsatamasta.

Tutkimuksessa hypoteesina on, että nykytilanteessa kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahinnan tulee olla huomattavan korkea, jotta voimalaitoksen on kannattavaa tuoda metsähaketta ulkomailta. Jos tuontihakkeen toimitusketju sisältää jatkokuljetuksen määräsatamasta loppukäyttäjälle, tulee irtolastialuksen kapasiteetin ja siten lastin olla maksimissaan noin 10 000 – 15 000 i-m³. Mitä korkeampi lastin tiivistymä, sitä pienempi irtolastialuksen tulee olla, jotta purkamisen ja jatkokuljetuksen kustannukset pysyvät mahdollisimman alhaisina. Hypoteesini mukaan tuodun metsähakkeen kannattava jatkokuljetusetäisyys määräsatamasta on selvästi alle keskimääräisen kotimaan hankinta- tai kuljetusetäisyyden, koska monivaiheisempi tuontitoimitusketju nostaa kokonaiskustannuksia ja siten käyttöpaikkahintaa.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Aineiston hankinta

Kotimaisen metsähakkeen autotoimitusketjun perustietojen ja tuontihakkeen euromääräisten kustannusten selvittämiseksi hankin aineistoa kirjallisista lähteistä sekä asiantuntija- ja toimijahaastatteluin. Samoilla metodeilla selvitin muita tarvittavia lähtötietoja ja kokosin niitä aineistoksi. Aineisto koostui numeerisesta ja laadullisesta datasta tekstinä ja Excel-muodossa. Haastattelut suoritin sähköpostitse, puhelimitse ja kasvotusten ilman yleistä strukturointia alkuvuoden 2019 aikana. Häivytin toimijoiden nimet kilpailullisista syistä.

2.1.1 Kirjallisista lähteistä hankittu aineisto

Kirjallisuudesta hankittu aineisto sisälsi kotimaisen metsähakkeen autotoimitusketjun läpimenoajan, irtolastialusten kokonaiskantavuus- ja kapasiteettitietoja, irtolastin tiivistymäarvoja, satama-aikojen pituuteen liittyviä tietoja, satamien tavaramaksuja ja satamavarastoinnin hinnoittelua sekä varastotilan tarpeen metsähaketta varastoitaessa. Lisäksi selvitin kotimaan metsähaketoimitusten keskimääräisen kuljetusetäisyyden, kuljetuskustannusten osuuden suomalaisen autotoimitusketjun käyttöpaikkahinnasta ja hakeautojen keskimääräisen kapasiteetin. Hankin aineistoksi myös hakeautojen lastaus- ja purkutietoja sekä metsähakkeen irtotiheyden arvoja.

Tyypillinen läpimenoaika kotimaiselle metsähakkeen autotoimitusketjulle ilman puunhankinnan organisointia on keskimäärin noin 4-18 kuukautta riippuen hakkuuajankohdasta (Koistinen *ym.* 2016).

Irtolastialusten kokonaiskantavuus- ja kapasiteettitiedot ovat yleisesti saatavilla (Meri-aura 2018, Prima Shipping 2018, AtoB@ 2019a, ESL Shipping 2019). Määrittelin keskimääräisen esimerkkialuksen tuontitoimitusketjun kustannustekijöiden herkkyyksanalyysin ja hankinta-alueen laajentamisen kriittisen pisteen laskemisen perustaksi seuraavien kolmen aluksen perusteella: M/S Polyaland (AtoB@C 2019b), M/S Martta VG

(Meriaura 2019) ja MV Prima Ballerina (Prima Shipping 2016). Esimerkkialuksen tärkeimmät tiedot ovat edellä mainittujen alusten perusteella 1 500 nettotonnia, 4 000 DWT kokonaiskantavuus ja 5 300 m³ ruumatilavuus. Tuontitoimitusketjun teknisten muuttujien laskelmissa vaihteluväli ruumatilavuudelle on 2000-15 000 m³, tarkoittaen noin 1 500 – 11 500 DWT kokonaiskantavuutta, tämän kokoisten alusten yleisyyden ja saatavuuden sekä tarkastelun kattavuuden varmistamiseksi.

Hakelastin koneellista tiivistämistä ja hakelastin määrää on arvioitu aluksen ruumatilavuuden lisäksi tulevana ylimääräisenä volyyminä tai suoraan aluksen kokonaiskantavuuden mukaan. Tiivistymä vaihtelee 0-30 % välillä ja hakelastin maksimimäärä ilman tiivistymää on 1,3 m³/DWT. (Similä 2012, Enström 2015, Huhtinen 2017).

Iikkasen (2018) arvioi erityyppisten alusten tarvitsemia satama-aikoja. Esimerkiksi lannoitteilla irtolastin määrän kasvaessa 20-40 %, purkutehon oletetaan kasvavan 17 % ja sallitun satama-ajan 20 %. Ikkaisen käyttämän pienimmän aluksen, maksimilastiltaan noin 1 900 nettotonnin, kohdalla purkuteho on 120 t/h ja verrattavissa Enströmin (2016) esittämään 350 i-m³/h eli 105 t/h metsähakkeen irtotiheyden ollessa noin 300 kg/i-m³. Lannoitteita kuljettavien alusten lukujen käyttöä puoltaa myös Iikkasen (2018) esittämien haketta kuljettavien irtolastialusten huomattavasti suuremmat lähtöarvot, joiden mukaan pienin alus on maksimilastiltaan jo noin 14 000 nettotonnia.

Ikkasen (2018) materiaalin pohjalta voidaan mallintaa purkutehon ja sallitun satama-ajan muutos metsähakelastin kasvaessa (Taulukko 1), kun lähtöarvona on käytetty esimerkkialuksen 5 300 m³ ruumatilavuuden ja 15 % tiivistymän mukaista lastia. Purkutehon kasvua käytännön työskentelyolosuhteissa selittää se, että suuremman aluksen parissa mahtuu työskentelemään useampia nostureita tai muita purkulaitteita kerrallaan kuin pienemmän aluksen kanssa.

Taulukko 1. Purkutehon ja satama-ajan kasvu irtolastialuksen metsähakelastin koon kasvaessa.

Lasti i-m ³	Purkuteho i-m ³ /h	Satama-aika h	i-m ³ /Satama-aika h
6 100	350	24	254
7 930	410	29	275
10 309	479	35	298
13 402	561	41	323
17 422	656	50	350

Satamien tavaramaksut metsähakkeen osalta vaihtelevat satamittain. Osa suomalaisista satamista tarjoaa julkiset palveluhinnastot ja osasta palveluhinnasto tulee pyytää erikseen. Metsähakkeen osalta julkisesti saatavilla olevat tavaramaksut vaihtelivat 0,8-1,85 €/t välillä. Edullisin tavaramaksu metsähakkeelle oli Inkoossa ja kallein Helsingissä (HaminaKotka 2019a, Helsingin Satama 2019, Inkoo Shipping 2019, Kvarken Ports 2019, Rauman Satama 2019).

Satamavarastoinnin hinnoittelun avoimuus ja saatavuus vaihtelevat myös satamittain. Varastoinnin kustannukset ovat hieman huonommin julkisesti saatavilla kuin tavaramaksut. Varastointikustannukset olivat saatavilla Vaasan, HaminaKotkan ja Rauman satamien hinnastoista. Kalleinta varastointi oli Vaasassa 0,059-0,45 €/m²/vrk riippuen varastoalueen sijainnista, kun HaminaKotkan ja Rauman kustannustaso oli sama: 0,04-0,10 €/m²/vrk. Kalleinta varastointi on laiturilla ja edullisinta päällystämättömällä sorakentällä (HaminaKotka 2019b, Kvarken Ports 2019, Rauman Satama 2019).

Varastoitaessa metsähaketta 1 m² varastoalalle mahtuu 1,6 i-m³ haketta, kun varastokasan korkeus on maksimissaan 4 metriä (Belbo & Talbot 2014). Toisin sanoen 1 i-m³ haketta vaatii 0,63 m² varastoalaa. Tässä tutkimuksessa satamavarastoinnin oletetaan alkavan, kun irtolastialus on purettu hakeautoilla tapahtuvan jatkokuljetuksen edelleen jatkuessa. Satamavarastoinnin minimiveloitus on yksi vuorokausi ja vuorokaudet pyöristetään ylöspäin lähimpään kokonaislukuun.

Metsähakkeen kuljetusmatkat vaihtelevat Suomessa alueellisesti ja käyttöpaikoittain. Kannattava maksimietäisyys käyttöpaikalle on metsähakkeen osalta noin 100-150 km (Laitila *ym.* 2011, Korpilahti 2012). Kotimaisten metsähaketoimitusten keskimääräinen autokuljetusmatka oli vuosina 2010–2017 noin 60 km (Venäläinen *ym.* 2016, Tilasto-

keskus 2016–2018c). Keskimääräinen kuljetusmatka on siis ollut selvästi alle pisimmän kannattavan kuljetusmatkan. Kuljetuskustannusten osuus suomalaisen autotoimitusketjun käyttöpaikkahinnasta on 23 % (Goltsev *ym.* 2011).

Keskimääräisenä hakeauton kapasiteettina voidaan pitää 140 i-m³ (Laitila *ym.* 2011, Korpilahti 2012). Hakeauton lastausaikana voidaan käyttää 0,2 tuntia ja purkuaikana 0,5 tuntia (Windisch 2015). Käytin lastausaika 0,2 tunnin sijaan 0,5 tuntia, koska osa tuontihakkeesta jouduttaisiin lastaamaan laiturin kautta irtolastialuksen purkamisen yhteydessä. Syynä tähän on oletus, että irtolastialuksen purkaminen jatkuu tasaisesti, vaikkei hakeautoa olisikaan paikalla lastattavaksi. Näin saattaa tapahtua käytettävissä olevien hakeautojen määrän sekä jatkokuljetusetäisyyden mukaan. Virkkunen (2013) ja Alakangas *ym.* (2016) ovat esittäneet metsähakkeen irtotiheydeksi noin 300 kg/i-m³.

2.1.2 Asiantuntija- ja toimijahaastatteluin hankittu aineisto

Haastatteluin hankittua aineistoa olivat metsähakkeen käyttöpaikkahinta Suomessa, metsähakkeen FOB-hinta Baltiassa, merirahdin kustannus, kuljetusvakuutuksen hinta esimerkkialuksen metsähakelastille, irtolastialuksen purku- ja hakeautojen lastausmaksut määräsatamassa, irtolastialuksen mahdollinen seisontamaksu sekä hakeautoilla tapahtuvan jatkokuljetuksen kustannukset (Taulukko 2). Jatkokuljetuskustannuksen laskentaa varten tutustuin myös kirjallisuuteen.

Taulukko 2. Asiantuntija- ja toimijahaastatteluin hankittu aineisto.

Toimija	Tunniste	Saatu aineisto	Aineiston yksikkö	Maa
Energiayhtiö	A	Metsähakkeen käyttöpaikkahinta	€/MWh	Suomi
Hakkeentuottaja	B	(Tuonti)metsähakkeen FOB-hinta	€/MWh	Viro
Rahtimeklari	C	Useita merirahtiin liittyviä tietoja (avattu tarkemmin Taulukoissa 4a ja 4b)	Useita	Suomi
Vakuutusyhtiö	D	Kuljetusvakuutuksen hinta	€	Suomi
Satamaoperaattori	E	Irtolastialuksen purku- ja hakeautojen lastauskustannukset	€/t	Suomi
Kuljetusyritys	F	Jatkokuljetuskustannus yhdelle menopaluu-kuljetukselle	€	Suomi

Metsähakkeen keskimääräinen käyttöpaikkahinta Suomessa on saatavilla esimerkiksi FOEX:in indekseistä (FOEX 2018) tai Tilastokeskukselta (Tilastokeskus 2018b). Eksaktit käyttöpaikkahinnat eivät ole julkista tietoa. Haastateltu rannikon läheisyydessä sijaitseva Energiayhtiö A kertoi metsähakkeen käyttöpaikkahinnan olevan voimalaitoksellaan noin 25 €/MWh.

Baltialaisen metsähakkeen FOB-hinnan selvittämiseksi otin yhteyttä haketuottaja B:hen Virossa. Haketuottajan B:n mukaan metsähakkeen FOB-hinta olisi 18 €/MWh vuoden 2019 kolmannen tai neljännen vuosineljänneksen aikana toimitettavalle hakerälle. Suuntaa-antavat hintatiedot olisivat olleet saatavilla myös Baltpool-biomassapörssistä tai Viron valtion metsien huutokauppa- ja kuljetuskustannustietoja yhdistelemällä (Baltpool 2018b, Riigimetsa majandamise keskus 2018). Haketuottaja B:n mukaan niin kutsutun lämmityskauden (lokakuu-huhtikuu) aikana ja vähintäänkin kohtalaisessa varastotilanteessa, metsähaketilaus tulisi tyypillisesti tehdä 2-4 viikkoa ennen lastausajankohtaa, jotta esimerkiksi kuljetus, satamavarastointi ja lastausoperaatiot ehditään järjestämään.

Rahtimeklari C:n mukaan merirahdin hinnoittelu elää jatkuvasti eikä globaaleja kuiva-rahtimarkkinoita kuvaavia indeksejä kuten Baltic Dry Index (Baltic Exchange 2019, Investopedia 2019) voi suoraan soveltaa merirahdin hintaa arvioitaessa Itämerellä. Tiedustelin merirahtia aiemmin määritellyn esimerkkialuksen 5 300 m³ ruumatilavuuden mukaiselle hakelastille virolaisesta satamasta Suomen rannikolla sijaitsevaan vientisatamaan muodossa €/ruumakuutio. Rahtimeklari C:n mukaan kuljetusta järjestettäessä seuraavan kuun rahtimäärät olisi hyvä olla tiedossa kuluvan kuun 10. päivään mennessä, mutta tarvittaessa kuljetus voi järjestyä alle kahden viikon varoitusajalla. Lyhyempi varoitusaika voi tosin näkyä korkeampana rahdin hintana sopivien alusten sijaintien ja saatavuuden mukaan. Rahtimeklari C:n mukaan metsähakkeen tiivistymä irtolastialuskuljetuksessa vaihtelee välillä 0-30 % lastausoperaattorin mukaan.

Lähtösatamassa lastausajaksi määritin 24 tuntia ja määräsatamassa maksimipurkuajaksi 24 tuntia. 24 tunnin aikaikkunat ovat riittävät esimerkkialukselle, kun huomioidaan lastauskapasiteetti 450 i-m³/h ja purkukapasiteetti 350 i-m³/h (Enström 2016). Näiden mukaan 24 tunnissa pystyttäisiin lastaamaan noin 10 800 i-m³ ja purkamaan 8 400 i-m³,

jotka molemmat ylittävät esimerkkialuksen 5 300 m³ ruumatilavuuden. Rahtimeklari C:n mukaan kilpailutettu rahdin hinta annettujen lähtötietojen mukaisesti olisi noin 8 €/ruumakuutio. Mahdollisen seisonmaksun osalta rahtimeklari C kertoi alustavaksi laskukaavaksi 1 €/aluksen DWT-tonni/24 tuntia. 4000 DWT aluksen pitoajan ylittyessä esimerkiksi neljällä tunnilla, seisonmaksua tulisi noin 700 €. Rahtimeklari C ja Similän (2012) mukaan mallinnetut irtolastialusten perustiedot on esitetty Taulukossa 3.

Taulukko 3. Tutkimuksessa käytettyjen irtolastialusten perustiedot.

Kokonaiskantavuus (DWT)	Ruumatilavuus (m ³)	Rahtikustannus (€/ruuma-m ³)
1 500	2 000	7
4 000	5 300	8
6 500	8 500	9
9 000	11 700	10
11 500	15 000	11

Kuljetusvakuutuksella lastinantaja varautuu lastin vahingoittumiseen tai häviämiseen lastaamisen, kuljetuksen ja purkamisen aikana (Alandia Vakuutus 2019). Vakuutusarvon ohjeellinen laskutapa on merivakuuttamiseen erikoistuneen Alandia Vakuutuksen (2016) mukaan seuraava: lastin kokonaisarvo + kuljetuskustannukset + 10 % lastin ja kuljetusten kokonaisarvosta. Kuljetusvakuutuksen hinnan selvittämiseksi pyysin tarjouksen esimerkkialuksen ruumatilavuuden mukaisen lastin kertakuljetukselle perinteiseltä Vakuutusyhtiöltä D, joka myös tarjoaa kuljetusvakuutuksia osana tuoteportfolioaan. Saadun tarjouksen mukaan vakuutusarvoltaan noin 150 000 euron arvoisen lastin kuljetusvakuutuksen hinta olisi noin 400 euroa.

Määrittelemäni esimerkkialuksen purkamisesta aiheutuvat kustannukset selvitin Satamaoperaattorilta E. Rannikolla sijaitsevassa määräsatamassa Satamaoperaattori E olisi hoitanut myös hakeautojen lastaamisen jatkokuljetusta varten. Laivan purkamisen kustannukseksi satamaoperaattori arvioi noin 4-4,5 €/t ja hakeautojen lastaamisen kustannukseksi noin 1,2 €/t. Tässä tutkimuksessa ei huomioida satamaoperaattorin työaikoja tai ylityökorvauksia. Satamaoperaatioiden oletetaan onnistuvan yhtäjaksoisesti töiden aloittamisesta loppuun ilman keskeytyksiä.

Hakeauton käyttötuntikustannukset vaihtelevat terminaalissa ja ajossa. Terminaalissa kustannus oli noin 60 €/h ja ajossa noin 80 €/h (Hakonen 2013, Laitila *ym.* 2017). Käytin näitä arvoja laskemissani, mutta vertailuarvoksi selvitin ajantasaisen ja tarkemman hinnoittelun jatkokuljetuskustannusta varten Kuljetusyritykseltä F. Haastattelun yrityksen mukaan kuljetuspalvelut hinnoitellaan tyypillisesti muodossa €/t. Jatkokuljetuskustannukseksi sain yhdelle kapasiteetiltaan 140 i-m³ hakeauton 50 km lastaus-kuljetus-purku-paluu -esimerkkisyklille noin 200 euroa. Keskimääräinen ajonopeus terminaalista käyttöpaikalle oli 100 km matkalla odotteluineen noin 40 km/h (Klemetin (2012). Kyseisen keskinopeuden käyttö oli perusteltua myös tässä tutkimuksessa, koska satama on toimintaympäristöltään lähempänä energiapuu- tai metsähaketerminaalia kuin tienvarsivarastoa.

2.2 Aineiston käsittely

Kirjallisista lähteistä ja asiantuntija- ja toimijahaastatteluin hankittu aineisto on esitetty Taulukoissa 4a ja 4b lähtömuodossaan. Aineistoksi hankittujen erilaisten yleisten lähtötietojen, muiden lähtötietojen ja tuontihakkeen kustannustekijöiden hinnoitteluperusteet ja yksiköt vaihtelevat. Tästä syystä laskin kustannustekijät soveltuvien osin auki muotoon €/MWh niiden yhtenäistämiseksi. Muita lukuarvoja käytin sellaisenaan aineistoa käsiteltäessä referensseinä tai vertailuarvoina.

Taulukko 4a. Yhteenveto kirjallisista lähteistä ja asiantuntija- ja toimijahaastatteluin aineistoksi hankituista yleisistä lähtötiedoista ja vakiona pysyneistä muista lähtötiedoista.

Yleiset lähtötiedot	Lukuarvo	Yksikkö	Lähde
Autotoimitusketjun läpimenoaika Suomessa	4-18	kk	Koistinen <i>ym.</i> 2016
Metsähakkeen käyttöpaikkahinta Suomessa	25	€/MWh	Energiayhtiö A
Metsähakkeen kuljetusetäisyys Suomessa	60	km	Venäläinen <i>ym.</i> 2016, Tilastokeskus 2016–2018c
Kuljetuksen osuus käyttöpaikkahinnasta Suomessa	23	%	Goltsev <i>ym.</i> 2011
Tuontihakkeen toimituksen järjestelyaika	2-4	viikkoa	Hakkeentuottaja B
Merikuljetuksen järjestelyaika	2-4	viikkoa	Rahtimeklari C
Esimerkki-irtolastialuksen nettotonnit	1 500	t	AtoB@C 2019b, Meriaura 2019, Prima Shipping 2016
Vakio lähtötiedot	Lukuarvo	Yksikkö	Lähde
Metsähakkeen irtotiheys	300	kg/i-m ³	Virkkunen 2013, Alakangas <i>ym.</i> 2016
Laivan purkukapasiteetti määräsatamassa	350	i-m ³ /h	Enström 2016
Varastotilan tarve määräsatamassa	0,63	m ² /i-m ³	Belbo & Talbot 2014
Hakeauton kapasiteetti	140	i-m ³	Laitila <i>ym.</i> 2011, Korpilahti 2012
Hakeauton lastausaika määräsatamassa	0,5	h	Windisch 2015
Hakeauton terminaalikustannus	60	€/h	Hakonen 2013, Laitila <i>ym.</i> 2017
Keskimääräinen ajonopeus	40	km/h	Klemetti 2012
Hakeauton ajokustannus	80	€/h	Hakonen 2013, Laitila <i>ym.</i> 2017
Hakeauton purkuaika käyttöpaikalla	0,5	h	Windisch 2015

Taulukko 4b. Yhteenveto kirjallisuudesta ja asiantuntija- ja toimijahaastatteluin aineistoksi hankituista muuttuvista lähtötiedoista ja tuontitoimitusketjun varsinaisista kustannustekijöistä.

Muuttuvat lähtötiedot	Lukuarvo	Yksikkö	Lähde
Esimerkki-irtolastialuksen ruumatilavuus	5 300 (2 000-15 000)	m ³	AtoB@C 2019b, Meriaura 2019, Prima Shipping 2016
Metsähakkeen tiivistymä irtolastina	15 (0-30)	%	Rahtimeklari C
Irtolastialuksen sallittu purkuaika	>= 24	h	likkanen 2018, Rahtimeklari C
Irtolastialuksen seisonnamaksu	1	€/DWT/24 h	Rahtimeklari C
Hakeautojen määrä	0-5	kpl	Oma arvio
Ajomatka menopaluu	50 (0-200)	km	Oma arvio
Tuontihakkeen kustannustekijät	Lukuarvo	Yksikkö	Lähde
Metsähakkeen FOB-hinta	18	€/MWh	Hakkeentuottaja B
Merirahti	8	€/ruuma-m ³	Rahtimeklari C
Kuljetusvakuutus	400	€	Vakuutusyhtiö D
Tavaramaksu määräsatamassa	1,3 (0,8-1,85)	€/t	HaminaKotka 2019a, Helsingin Satama 2019, Inkoo Shipping 2019, Kvarken Ports 2019, Rauman Satama 2019
Laivan purkumaksu määräsatamassa	4,3 (4-4,5)	€/t	Satamaoperaattori E
Varastointikustannus määräsatamassa	0,04-0,45	€/m ² /vrk	HaminaKotka 2019b, Kvarken Ports 2019, Rauman Satama 2019
Hakeauton lastauskustannus	1,2	€/t	Satamaoperaattori E
Jatkokuljetuskustannus	200	€	Kuljetusyritys F

Yhtenäistetyt kustannustekijät on esitetty Taulukossa 5. muodossa €/MWh. Taulukoon 5. on myös määritelty kustannustekijöittäin vaihteluväli aineiston herkkyytstarkastelua varten. Kustannustekijöiden vaihteluvälit on määritelty käytettyjen kirjallisten lähteiden ja asiantuntija- ja toimijahaastatteluiden perusteella tai lähtötasoon suhteutettuna henkilökohtaisen arvion perusteella. Taulukossa 6. on esitetty laskentakaavat kustannustekijöiden yhtenäistämiseksi.

Taulukko 5. Tuontihakkeen kustannustekijät muodossa €/MWh, kustannustekijöiden minimi- ja maksimiarvot sekä vaihteluvälin tarkenne 4000 DWT esimerkkialuksella. Hakeauton lastaamisen ja jatkokuljetuksen kustannusten ollessa nolla puretaan suoraan irtolastialuksesta esimerkiksi kuljettimelle eikä jatkokuljetukselle ole tällöin tarvetta.

Tuontihakkeen kustannustekijät	€/MWh	Min	Max	Vaihteluväli
Metsähakkeen FOB-hinta	18,00	9,00	27,00	+/- 50 %
Merirahti	8,70	4,35	13,05	+/- 50 %
Kuljetusvakuutus	0,08	0,04	0,12	+/- 50 %
Tavaramaksu määräsatamassa	0,49	0,25	0,74	+/- 50 %
Laivan purkumaksu määräsatamassa	1,59	0,80	2,39	+/- 50 %
Satamavarastointi	0,04	0,00	0,65	0-30 vrk
Hakeauton lastauskustannus	0,45	0,23	0,68	+/- 50 %
Jatkokuljetuskustannus	1,43	0,00	2,68	0-100 km
Tuontihakkeen käyttöpaikkahinta	30,78	14,67	47,31	

Taulukko 6. Laskentakaavat tuontihakkeen kustannustekijöiden yhtenäistämiseksi muotoon €/MWh. Laskemisessa käytetyt lukuarvot on esitetty Taulukossa 4b.

Tuontihakkeen kustannustekijät	Laskentakaava, jolla saatu muotoon €/MWh
Metsähakkeen FOB-hinta	Ei tarvita, lähtöarvo oikeassa muodossa
Merirahti	$=\text{€}/\text{ruuma-m}^3 \cdot \text{ruuma-m}^3 / ((\text{ruuma-m}^3 + \text{tiivistymä\%}) \cdot 0,8 \text{ MWh}/\text{i-m}^3)$
Kuljetusvakuutus	$=\text{€}/((\text{ruuma-m}^3 + \text{tiivistymä\%}) \cdot 0,8 \text{ MWh}/\text{i-m}^3)$
Tavaramaksu määräsatamassa	$=\text{€}/t \cdot ((\text{ruuma-m}^3 + \text{tiivistymä\%}) \cdot \text{irtotiheys}/1000) / ((\text{ruuma-m}^3 + \text{tiivistymä\%}) \cdot 0,8 \text{ MWh}/\text{i-m}^3)$
Laivan purkumaksu määräsatamassa	$=\text{€}/t \cdot ((\text{ruuma-m}^3 + \text{tiivistymä\%}) \cdot \text{irtotiheys}/1000) / ((\text{ruuma-m}^3 + \text{tiivistymä\%}) \cdot 0,8 \text{ MWh}/\text{i-m}^3)$
Satamavarastointi	$=((((\text{ruuma-m}^3 + \text{tiivistymä\%})/\text{purkuteho}) \cdot \text{autosyklin_ei-lastasta} \cdot \text{purkuteho}) \cdot \text{hakkeen tilantarve m}^2/\text{i-m}^3 \cdot \text{satamavarastoinnin hinta}) \cdot ((((\text{ruuma-m}^3 + \text{tiivistymä\%})/\text{autokapasiteetti}) \cdot (\text{lastausaika} + \text{purkuaika} + 2(\text{ajomatka}/\text{ajonopeus}))/(\text{hakeautojen määrä} - \text{ruuma-m}^3/(\text{i-m}^3/\text{sallittu satama-aika}))/((\text{ruuma-m}^3 + \text{tiivistymä\%}) \cdot 0,8 \text{ MWh}/\text{i-m}^3)$
Hakeauton lastauskustannus	$=\text{€}/t \cdot ((\text{ruuma-m}^3 + \text{tiivistymä\%}) \cdot \text{irtotiheys}/1000) / ((\text{ruuma-m}^3 + \text{tiivistymä\%}) \cdot 0,8 \text{ MWh}/\text{i-m}^3)$
Jatkokuljetuskustannus	$=((\text{ruuma-m}^3 + \text{tiivistymä\%})/\text{autokapasiteetti}) \cdot (\text{lastausaika} \cdot \text{terminaalikustannus} + (\text{ajomatka}/\text{ajonopeus}) \cdot \text{ajokustannus} + \text{purkuaika} \cdot \text{terminaalikustannus}) / ((\text{ruuma-m}^3 + \text{tiivistymä\%}) \cdot 0,8 \text{ MWh}/\text{i-m}^3)$

Hankitun aineiston ja kirjallisuuden avulla tein kotimaan autotoimitusketjun ja tuontitoimitusketjun systeemikuvaukset listaamalla ja vertaamalla toimitusketjuittain operatiivisia vaiheita, toimijoita, materiaali- ja informaatiovirtoja sekä syntyviä kustannuksia eri muodoissaan. Tarkoituksena oli osoittaa ja tutkia mahdollisia yhteneväisyyksiä ja perustavanlaatuisia eroja mainittujen toimitusketjujen välillä.

Hyödynsin aineistoa tuontitoimitusketjun herkkyyksianalyysin tekemiseksi, jolla pyrin osoittamaan eri kustannustekijöiden merkityksen tuontihakkeen käyttöpaikkahinnan osalta. Tein herkkyyksianalyysin muuttamalla kerrallaan yhden kustannustekijän arvoa määriteltujen minimi- ja maksimiarvojen välillä käyttöpaikkahinnassa tapahtuvan muutoksen todentamiseksi. Samalla tutkin, kuinka suuri osuus käyttöpaikkahinnasta muodostuu kyseisestä kustannustekijästä sen arvoa muutettaessa.

Aineiston tarkastelun avulla selvitin myös tuontitoimitusketjun teknisten muuttujien vaikutusta käyttöpaikkahintaan ja kokonaiskustannuksiin. Irtolastialuksen ruumatilavuuden vaihtelun merkittävyyttä tutkin vertaamalla merirahdin, tavaramaksun, purkumaksun, satamavarastoinnin ja purkuajan muutosta aluksen kokonaiskantavuuden ja ruumatilavuuden sekä lastin tiivistymän muuttuessa. Lisäksi tarkastelin irtolastialuksella kuljetetun metsähakkeen määrän vaikutusta tarvittavaan hakeautojen määrään vertaamalla kuljetetun ja lastin tiivistymällä korjatun metsähakkeen määrää hakeautojen kapasiteettiin, josta sain tarvittavan hakeautolastillisten eli toisin sanoen kuljetuskertojen määrän.

Näitä laskelmia varten määrittelin kolme eri tuontihakeskenaariota:

1. Ei satamavarastointia ja jatkokuljetus.
2. Satamavarastointi ja jatkokuljetus.
3. Ei satamavarastointia eikä jatkokuljetusta.

Skenaariot yksi ja kaksi kuvaavat normaaleja toimintamalleja, jossa irtolastialuksesta purettu metsähake pyritään siirtämään mahdollisimman nopeasti tai lyhyehkön satamavarastoinnin jälkeen loppukäyttöpaikalle. Kolmas skenaario kuvaa tilannetta, jossa metsähakkeen loppukäyttäjällä on käytössään esimerkiksi kuljetinjärjestelmä metsähakkeen siirtämiseksi suoraan irtolastialuksesta varastosiiloon tai käyttöön, milloin ei tarvita satamavarastointia tai erillistä jatkokuljetusta.

Kuljetuskertojen osalta määritin lastausajan, ajomatkan ja -nopeuden sekä purkuajan perusteella autosyklin eli yhden menopaluuajokierroksen vaatiman ajan. Hakeautojen määrän vaikutusta jatkokuljetuksen kestoon tutkin kertomalla autosyklin kuljetuskertojen määrällä ja jakamalla se käytössä olevien hakeautojen määrällä. Jatkokuljetuksen kokonaiskustannusta arvioin kokonaisajanmenekin ja käyttötuntihintojen perusteella kuljetettuun kokonaisenergiamäärään verrattuna.

Hankittua aineistoa hyödyntämällä pystyin laskemaan kriittiset pisteet, joilla osoitin suomalaisen metsähakkeen käyttäjän rajakuljetusetäisyydet ja -hinnat metsähakkeen tuomiseksi Baltiasta kotimaan hankinta-alueen laajentamisen sijaan. Tiedossa olevien

kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahinnan, keskimääräisen kuljetusetäisyyden ja kuljetuskustannuksen keskimääräisen käyttöpaikkahintaosuuden perusteella tein lähtöoletuksen, jonka mukaan kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahinta 60 km hankintaetäisyydellä olisi 25 €/MWh.

Laskin kriittisen pisteen metsähakkeen tuonnille vertaamalla esimerkki-irtolastialuksen ja tuontihakkeen kustannustekijöiden lähtöarvojen mukaisen tuontitoimitusketjun käyttöpaikkahinnan kehitystä jatkokuljetusetäisyyden muuttuessa kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahintaan ja sen muutokseen kotimaan hankintaetäisyyden kasvaessa. Käytännössä selvitin kriittistä pistettä hakemalla kotimaan metsähakkeelle kuljetusetäisyyttä, jolla sen hinta ylitti tuontitoimitusketjun käyttöpaikkahinnan. Tein saman myös päinvastoin eli selvitin, kuinka paljon tuontihake saisi enimmillään maksaa tai kuinka pitkä jatkokuljetusetäisyys saisi enimmillään olla, jotta tuontihakkeen käyttöpaikkahinta olisi alle kotimaisen autotoimitusketjun käyttöpaikkahinnan.

2.3 Systeemikuvaus, -teoria ja -analyysi

Systeemit ovat määriteltävissä monin eri tavoin, mutta oleellista systeemeille on niiden koostuminen rajatusta määrästä itsenäisiä systeemitekijöitä. Nämä systeemitekijät voivat koostua omista alasysteemeistään, mutta niitä yhdistää tietyn lopputuloksen saavuttamiseen pyrkiminen. Eri systeemitasoilla sijaitsevien systeemitekijöiden välillä vallitsee vuorovaikutussuhteita, jotka sitovat ne omaksi erilliseksi kokonaisuudekseen muuhun ympäristöön verrattuna. Nämä vuorovaikutussuhteet voivat olla fyysisiä ja toiminnallisia tai vain toista näistä. Systeemitekijöiden välinen määritelty vuorovaikutus tekee systeemistä kokonaisuutena enemmän kuin osiensa summan (Rubin 2019).

Systeemitheoria pyrkii selittämään ilmiöitä erilaisissa ympäristöissä, kuten luonnollisissa, ihmisen rakentamissa ja teknisissä järjestelmissä. Systeemianalyysissä tutkitaan luonnollisten, ihmisen rakentamien ja teknisten järjestelmien toimintaa ja rakennetta. Systeemianalyysin tarkoituksena on kuvata rajatun vuorovaikutuksellisen järjestelmän osien toimivuutta kokonaisuutena. Avoin systeemi on vuorovaikutteinen ympäristönsä kanssa, kun taas suljettu systeemi on ympäristöstään eristyksissä (Peltoniemi *ym.* 2004, Rubin 2019).

Tutkimuksessani käytän systeemianalyysiä metsähakkeen kotimaisen autotoimitusketjun ja tuontitoimitusketjun ja niiden eri vaiheiden riippuvuussuhteiden kuvaamiseen. Lisäksi tämän tutkimuksen tavoitteena on visualisoida ja määritellä molemmat toimitusketjut sekä osoittaa niiden merkittävimmät eroavaisuudet ja mahdolliset yhteneväisyydet. Molemmat metsähakkeen toimitusketjut ovat mielletävissä avoimiksi systeemeiksi, koska esimerkiksi sääolosuhteet vaikuttavat molempien toimitusketjujen käytännön toteutukseen (Peltola *ym.* 2004).

Toimitusketjujen määrittelyssä osoitetaan toimitusketjujen vaiheiden määrä, toimitusketjujen hallinnan erot eri toimijoiden määrän kautta ja tyypillisen toimitussyklin pituuden erot. Osana tätä määrittelyä ovat myös materiaalin käsittely, informaatiovirrat ja erilaiset kustannukset aiheutumispisteineen.

2.4 Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysillä tarkoitetaan esimerkiksi investoinnin kannattavuutta tutkittaessa laskelman tiettyjen lähtöarvojen muutoksen vaikutusta investoinnin nykyarvoon ja siten muutosherkkyttä (Knüpfer & Puttonen 2011). Herkkyysanalyysillä pyritään investointien osalta löytämään ja tutkimaan ei-toivotuimmat virhearviokohteet (Yritystulikki 2019). Herkkyysanalyysi auttaa suuntaamaan resurssit tavoitteen ja lopputuloksen kannalta kriittisimpien asioiden hoitamiseen (Leppänen 2014).

Herkkyysanalyysin avulla voidaan selvittää päätöksenteon kannalta oleelliset muuttujat ja niiden epävarmuuden vaikutus päätöksentekoon. Yksisuuntaisessa herkkyysanalyysissä tutkitaan yksittäisen muuttujan arvon muutoksen merkitystä muuttamalla sitä ja pitämällä muut arvot vakiona. Kaksisuuntaisessa herkkyysanalyysissä tutkitaan kahden muuttujan arvojen muutosten merkitystä muuttamalla niitä ja pitämällä muut arvot vakiona (Pursula 1999).

Tutkimuksessani käytän yksisuuntaista herkkyysanalyysiä osoittamaan tuontitoimitusketjun yksittäisten kustannustekijöiden muutosten merkityksen tuodun metsähakkeen käyttöpaikkahinnalle. Tarkoituksena on selvittää, miten käyttöpaikkahinta käyttäytyy

kutakin kustannustekijää muutettaessa, mikä on merkittävin ja muutokselle herkin kustannustekijä sekä mikä on vähiten merkittävä ja muutokselle vähiten herkkä kustannustekijä.

Käytän herkkyyksianalyysiä myös käyttöpaikkahinnan muutoksen tutkimiseen, kun irtolastialuksen kokonaiskantavuus sen myötä ruumatilavuus, lastin tiivistymä, jatkokuljetusetäisyys ja käytössä olevien hakeautojen määrä muuttuvat. Myös näitä tuontitoimitusketjun teknisiä muuttujia muutetaan yhtä kerrallaan yksisuuntaisen herkkyyksianalyysin mukaisesti.

2.5 Kriittinen piste

Kriittisen pisteen laskeminen ja analysointi on tapa tutkia ja keskittyä kustannusten, volyymin ja tuottavuuden välisiin riippuvuussuhteisiin. Sitä voidaan käyttää odotetun muutoksen vaikutusten vertaamiseen nykytilan kanssa, kun nämä muutokset ovat määrittäviä. Liiketaloudessa kriittinen piste on tyypillisesti piste, jossa kustannukset ja tuotot ovat yhtä suuret. Tämä voidaan selvittää laskemalla nollatulokseen vaadittu tuotteiden hinta, myynti- tai valmistusmäärä (Cafferky & Wentworth 2014).

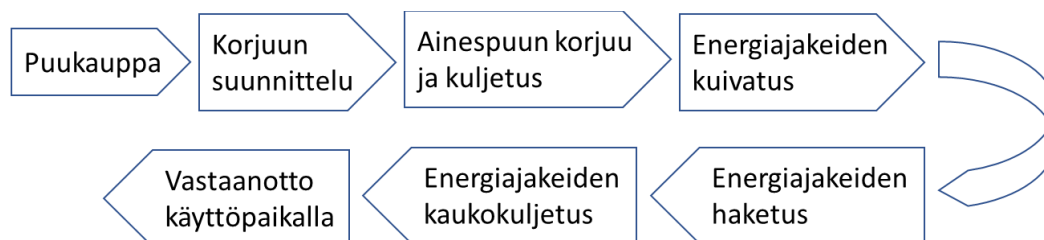
Kriittisen pisteen laskeminen ja analysointi auttavat tyypillisesti vastaamaan seuraavan tyyppisiin kysymyksiin: kannattaako yrityksen toiminto säilyttää vai ulkoistaa, kannattaako yrityksen muuttaa tuotantokapasiteettiaan tai tuotteen rakennetta tuotantomielessä (Cafferky & Wentworth 2014). Se voi myös auttaa yrityksen johtoa havaitsemaan toiminnan riskejä osoittamalla myyntivolyymien ja hinnoittelun muutosherkkyttä sekä osoittamalla kiinteiden kustannusten kestäättömän suuren osuuden kokonaiskustannuksista. Lisäksi laskenta havainnollistaa tuottavuutta ja kassavirtaa myyntivolyymien, hintojen tai kustannusten muuttuessa (Muro 1998).

Tutkimuksessani käytän kriittisen pisteen laskentaa ja analysointia tarkastellakseni millaisin metsähakkeen hinnan tai kuljetusetäisyyden muutoksin esimerkkituontitoimitusketju olisi kannattava kotimaiseen autotoimitusketjuun verrattuna. Tarkastelen kotimaisen metsähakkeen hintaa kuljetusetäisyyden muuttuessa. Tuontihakkeen käyttöpaikkahintaa tarkastelen lähtösataman FOB-hinnan ja jatkokuljetusetäisyyden muuttuessa.

3 TULOKSET

3.1 Toimitusketjujen systeemikuvaukset ja vertailu

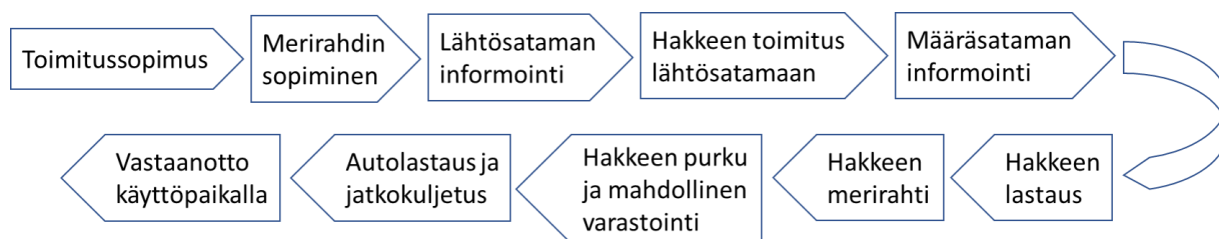
Kotimaisen tienvarsihaketuksen perustuvan metsähakkeen autotoimitusketjun vaiheita ja kustannustekijöitä ovat Laitilan *ym.* (2010) ja Raitilan *ym.* (2014) mukaan hankinnan organisointi, puunkorjuu ja metsäkuljetus, haketus tienvarressa ja valmiin hakkeen kaukokuljetus (Kuva 11). Nämä kustannustekijät voidaan esittää muodossa €/m³, €/i-m³, €/t tai käyttötuntikustannuksina, joista voidaan johtaa kustannukset muotoon €/MWh. Näiden lisäksi hakkuutähteiden kuivattamiselle voidaan laskea 1-3 %/kk kuiva-ainetappioista johtuva kustannus (Sikanen *ym.* 2016).



Kuva 11. Kotimaisen metsähakkeen autotoimitusketjun vaiheet puukaupasta metsähakkeen vastaanottoon käyttöpaikalla (Laitila *ym.* 2010, Klemetti. 2012, Ikonen *ym.* 2013, Virkkunen. 2013, Sikanen *ym.* 2016).

Kotimaisen metsähakkeen autotoimitusketjun toimijoita ovat koko ketjua tarkasteltaessa metsänomistaja tai puukauppavaltakirjan haltija, puunhankintaorganisaatio, urakoitsija ja hakkeen loppukäyttäjä. Urakoitsijoita voi olla myös useita, jos korjuu, haketus ja kuljetus ovat ulkoistettu erillisille yrityksille (Laitila *ym.* 2010, Klemetti 2012, Ikonen *ym.* 2013, Virkkunen 2013, Sikanen *ym.* 2016). Tyypillinen läpimenoaika kuvatulle autotoimitusketjulle ilman hankinnan organisointia on keskimäärin noin 4-18 kuukautta riippuen hakkuuajankohdasta (Koistinen *ym.* 2016).

Toimijahaastatteluiden pohjalta johdettuna tuontitoimitusketjun vaiheita ovat toimitussopimuksen laatiminen, merirahdin järjestäminen ja sopiminen, lähtösataman informointi, hakkeen toimitus lähtösatamaan, määräsataman informointi, hakkeen lastaaminen irtolastialukseen, hakkeen merirahti, hakkeen purku ja mahdollinen välivarastointi, autolastaus ja jatkokuljetus sekä hakkeen vastaanotto käyttöpaikalla (Kuva 12).



Kuva 12. Metsähakkeen tuontitoimitusketjun vaiheet toimitussopimuksen sopimisesta aina vastaanottoon käyttöpaikalla.

Tuontihakkeen kustannusrakenne koostuu hakkeen FOB-hinnasta lastauskuluineen, merirahdista sisältäen polttoaine-, väylä-, luotsi- ja aluksen satamamaksut, kuljetusvaikutuksesta, määräsataman tavara- ja purkumaksusta, hakeautojen lastaamisesta ja hakeautoilla tapahtuvasta jatkokuljetuksesta käyttöpaikalle. Tuontihakkeen kustannuksia voivat olla myös irtolastialuksen purkamisen ja jatkokuljetuksen väliset satama- tai muut varastointikulut, jos purkamisen ja jatkokuljetuksen välillä on viivettä sekä seisontamaksut, jos irtolastialuksen sovittu pitoaika ylittyy.

Tuontitoimitusketjun toimijoita ovat hakkeen myyjä, hakkeen ostaja, varustamo, satamaoperaattorit ja kuljetusyriitys sekä mahdollisesti rahtimeklari. Hakkeen myyjä ja ostaja sopivat hakkeen yksikkö hinnasta (€/MWh), kokonaistoimitusmäärästä, lastaussatamasta tai lastaussatamista, toimitusmäärän sallitusta vaihteluvälistä, toimitusaikataulusta, mitta- ja laatuvaatimuksista, testauskäytännöistä ja maksuehdoista. Tyypillinen maksuehto on 80/20, jolloin 80 % hakkeesta maksetaan esimerkiksi 5 päivää irtolastialukseen lastaamisen jälkeen hakkeen myyjän arvion perusteella ja 20 % loppukäyttäjän testituloksen perusteella 14 päivän sisällä testituloksen myyjälle toimittamisen ja tasauslaskun jälkeen.

Hakkeen ostaja ja varustamo sopivat lähtö- ja määräsatamista, lastin määrästä ja siten sopivasta aluskoosta, lastaus- ja purkuikkunoiden päivämääristä sekä maksuehdoista. Näistä asioista voi sopia myös rahtimeklari hakkeen ostajan puolesta, jos hakkeen ostaja on kilpailuttanut yksittäisen rahtauksen tai tehnyt laajemman rahtisopimuksen rahtimeklarin välityksellä. Hakkeen myyjä informoi lähtösatamaa ja paikallista satamaoperaattoria satamavarastossa tai laiturilla suoritettavasta varastoinnista. Hakkeen va-

rastointiaika laiturilla tulee minimoida, koska laiturilla on koko toimitusketjun kallein varastointipaikka. Kun varastointi on sovittu, hakkeen myyjä voi aloittaa hakekuljetukset lähtösatamaan.

Jos hakkeen myyntisopimus on tehty toimitusehdolla FOB, tulee hakkeen myyjän hoitaa lastaaminen joko omalla kalustollaan tai ostaa palvelu lähtösataman satamaoperaattorilta. Tällöin hakkeen myyjä sopii lastaamisesta ostajan tai tämän yhteyshenkilön (rahtimeklari tai varustamo) nimettyä saapuvan irtolastialuksen, kertoen mahdolliselle satamaoperaattorille lastattavan määrän ja nimetyn irtolastialuksen tiedot. Hakkeen ostaja informoi määräsataman satamaoperaattoria lastin purkamisen, mahdollisen varastoinnin ja autolastaamisen osalta antamalla toimituksessa käytettävän irtolastialuksen tiedot, tarvittavan purkuajan ja lastin määrän.

Hakkeen merirahdin hoitaa varustamo, jonka kanssa hakkeen ostaja on tehnyt suoraan tai rahtimeklarin kautta sopimuksen. Jos sopimus on tehty rahtimeklarin kautta, niin varustamo maksaa rahtimeklarin komission. Laivan lastaamisen päätyminen on kriittinen vaihe, koska sen ajankohdan mukaan määritellään tyypillisesti hakkeen ja merirahdin maksuajat. FOB-toimitusehdon mukaisesti myös hakkeen myyjän vastuut toimituksesta lakkaavat lastaamisen jälkeen. Tyypillinen maksuaika merirahdille on 2-10 päivää lastaamisesta ja määräsatamassa tapahtuvan purkamisen osalta 14 päivää purkamisesta.

Ennen hakkeen purkua ja mahdollista varastointia hakkeen ostajan tulee järjestää hakkeen jatkokuljetus loppukäyttöpaikalle joko suoraan kuljetusyrityksen kanssa tai ostaa palvelu satamaoperaattorilta, joka teettää palvelun aliurakoitsijallaan. Molemmissa tapauksissa oleellista on viestiä kuljetettavan hakkeen kokonaismäärä tarvittavan kuljetuskapasiteetin selvittämiseksi, sopia hinnoitteluperiaatteesta ja käytännön järjestelyistä hakkeen vastaanoton osalta. Jatkokuljetuksen tyypillinen maksuaika on 14 päivää kuljetuksesta. Hakkeen ostajan tulee testata tuontihake näytteenottosuunnitelmansa mukaisesti ja viestiä testitulokset ainakin energiasisällön osalta hakkeen myyjälle.

Tuontihakkeen toimitusketjun läpimenoaika on minimissään noin kuukausi, jos hakkeen myyjällä on hake valmiina välivarastossa muualla kuin satamassa. Nopeimmassa toimitusketjuvariaatiossa aikaa tarvitaan lähinnä hakkeen kuljettamiseen lähtösatamaan ja sopivan irtolastialuksen löytämiseen, sillä muut toimenpiteet voidaan sopia etukäteen hakkeen kuljetuksen ja merirahdin järjestämisen aikana. Hakkeen myyjä tarvitsee minimissään 2-4 viikkoa aikaa hakkeen kuljettamiseksi lähtösatamaan ja lastaamisen sopimiseksi, ellei haketta ole jo valmiina määräsatamassa. Irtolastialuksen löytämiseen on hyvä varata 1-3 viikkoa, mutta aluksia voi olla saatavilla myös vain muutamien päivien varoitusajalla. Toimitusketjun läpimenoaikaan vaikuttavat eniten välivarastoinnin kesto ja hake-erän sijainti toimitussopimuksen laatimisen hetkellä.

Merkittävimmät erot kotimaisen metsähakkeen autotoimitusketjun ja tuontitoimitusketjun välillä ovat läpimenoajassa, toimitusketjun vaiheiden, toimijoiden ja kustannustekijöiden määrässä sekä toimitusketjujen yleisyydessä ja siten vakiintuneisuudessa. Tuontitoimitusketju on oletettavasti aina kotimaista autotoimitusketjua nopeampi läpimenoajaltaan, koska tuontitoimitusketjun välivarastointipaikat satamissa ovat kalliimpia verrattuna autotoimitusketjun välivarastointipaikkoihin tienvarsilla, syöttöterminaaleissa tai käyttöpaikoilla. Tällöin toimijoilla on luontainen kannustin minimoida varastointiaika. On kuitenkin muistettava, että tässä tarkastelussa tuontihakkeen toimitusketju alkaa lähtösatamasta eikä huomioi sitä edeltävien prosessivaiheiden määrää tai kestoja.

Tuontitoimitusketju sisältää tässä tutkimuksessa tehdyn määritelmän mukaan 10 prosessivaihetta, kun kotimainen autotoimitusketju sisältää seitsemän prosessivaihetta. Jos tuontitoimitusketjun määritelmää laajennetaan kattamaan kotimaisen autotoimitusketjun kaltainen palstalta kattilaan -tilanne, kasvaa prosessivaiheiden määrä entisestään. Sama pätee myös erilaisten toimijoiden määrään, joita on kotimaisessa autotoimitusketjussa määritelmäni mukaan viisi ja vakiomuotoisessa tuontitoimitusketjussa kuudesta seitsemään. Prosessivaiheiden ja toimijoiden suurempi määrä tuontitoimitusketjun osalta tarkoittaa myös suurempaa määrää erilaisia kustannustekijöitä. Täten voidaan olettaa, että tuontitoimitusketjun hallinnan kustannukset ovat suuremmat kuin kotimaisen autotoimitusketjun.

Toimitusketjujen yleisyydessä ja siten vakiintuneisuudessa on merkittävä ero. Metsähakkeen autotoimitukset ovat yleisin toimitustapa Suomessa haketuspaikasta riippumatta (Strandström 2018). Sitä on tehty, tutkittu ja kehitetty vuosien saatossa runsaasti. Metsähakkeen tuontikaan ei ole täysin uusi asia, mutta sitä on tehty valtaosin Venäjältä autokuljetuksina. Tuonti irtolastialuksilla on ollut pienimuotoista ja vain suurempien metsäyhtiöiden harjoittamaa, ja se on keskittynyt kuitupuuhun ja selluhakkeeseen. Täten metsähakkeen tuonti irtolastialuksilla vaatii vielä koko toimitusketjun kehittämistä.

Merkittävimmät yhteneväisyydet kotimaisen metsähakkeen autotoimitusketjun ja tuontitoimitusketjun välillä ovat toimitusketjun aikaisen varastoinnin välttämättömyydessä, ja samankaltaiset tavoitteet. Molemmat toimitusketjut vaativat erilaisia useita toimijoita toteutuakseen ja välivarastoja jouhevan toiminnan takaamiseksi. Välivarastoja on metsäpalsstalla, tienvarressa, terminaaleissa ja käyttöpaikoilla. Niillä puskuroidaan eri prosessivaiheiden aikataulullisia eroja, edistetään metsähakkeen kuivumista ja laadun säilyvyyttä.

Molemmat toimitusketjut vaativat useita toimijoita toteutuakseen, koska loppukäyttäjät eivät käytännössä koskaan operoi koko toimitusketjussa. Toimijat voidaan karkeasti luokitella raaka-aineen hankkijoihin ja metsähakkeen tuottajiin, metsähakkeen käsitteelijöihin ja kuljettajiin sekä varsinaisiin loppukäyttäjiin. Molempien toimitusketjujen varsinaisena tavoitteena voidaan pitää mahdollisimman alhaista käyttöpaikkahintaa. Toimijoiden ja useiden eri prosessivaiheiden määrän kasvun voidaan olettaa lisäävän osaoptimoinnin vaaraa ja hankaloittavan koko toimitusketjun ohjaamista yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi. Näitä lieveilmiöitä voidaan minimoida toimijoita sitouttamalla ja viestimällä mahdollisimman avoimesti ja kattavasti.

3.2 Tuontitoimitusketjun kustannustekijöiden herkkyysanalyysi

Tässä alaluvussa käsittelen tuontitoimitusketjun varsinaisten kustannustekijöiden eli metsähakkeen FOB-hinnan, merirahdin, kuljetusvakuutuksen, tavaramaksun, laivan purkumaksun ja hakeautojen lastausmaksun muutosten vaikutusta tuontihakkeen käyttöpaiikkahintaan. Satamavarastoinnin vaikutusta käyttöpaiikkahintaan käsittelen luvussa 3.4. Tutkin vaikutusta muuttamalla kutakin kustannustekijää yhtä kerrallaan muiden pysyessä vakioina. Taulukossa 7. on esitetty kustannustekijöittäin niiden lähtötaso ja vaihteluväli ($\pm 50\%$) sekä miten tuontihakkeen käyttöpaiikkahinta on muuttunut näissä ääripäissä.

Taulukko 7. Tuontitoimitusketjun kustannustekijöiden lähtötaso ja vaihteluväli sekä miten käyttöpaiikkahinta on muuttunut kustannustekijöitä erikseen muutettaessa.

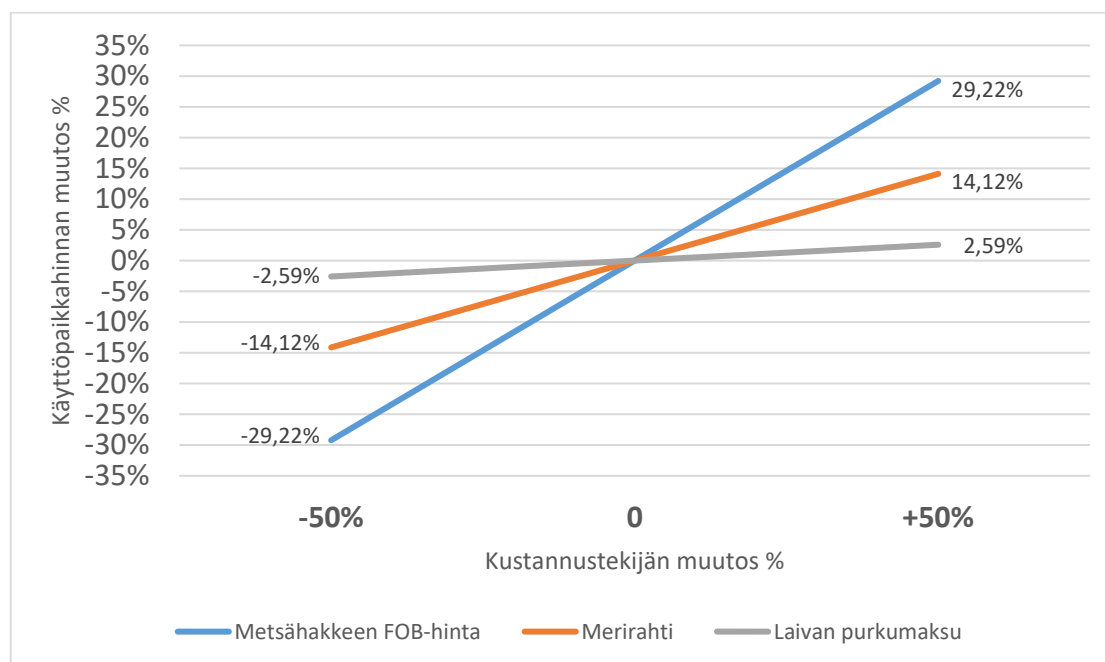
Kustannustekijät	-50%	+/- 0	+50%
Metsähakkeen FOB-hinta	9,00	18,00	27,00
Merirahti	4,35	8,70	13,04
Kuljetusvakuutus	0,04	0,08	0,12
Tavaramaksu	0,24	0,49	0,73
Laivan purkumaksu	0,80	1,59	2,39
Hakeauton lastausmaksu	0,23	0,45	0,68
Käyttöpaiikkahinnan muutos	-50%	+/- 0	+50%
Metsähakkeen FOB-hinta	-29,22 %	0,00 %	+29,22 %
Merirahti	-14,12 %	0,00 %	+14,12 %
Kuljetusvakuutus	-0,13 %	0,00 %	+0,13 %
Tavaramaksu	-0,79 %	0,00 %	+0,79 %
Laivan purkumaksu	-2,59 %	0,00 %	+2,59 %
Hakeauton lastausmaksu	-0,73 %	0,00 %	+0,73 %

Käyttöpaiikkahinnan muutoksen osalta merkittävin ja herkin kustannustekijä on FOB-hinnoiteltu metsähake. Hakkeen hinta muodostaa suurimman osan tuontitoimitusketjun käyttöpaiikkahinnasta, esimerkkituontitoimitusketjun lähtötilanteessa yli 50 %. Kun

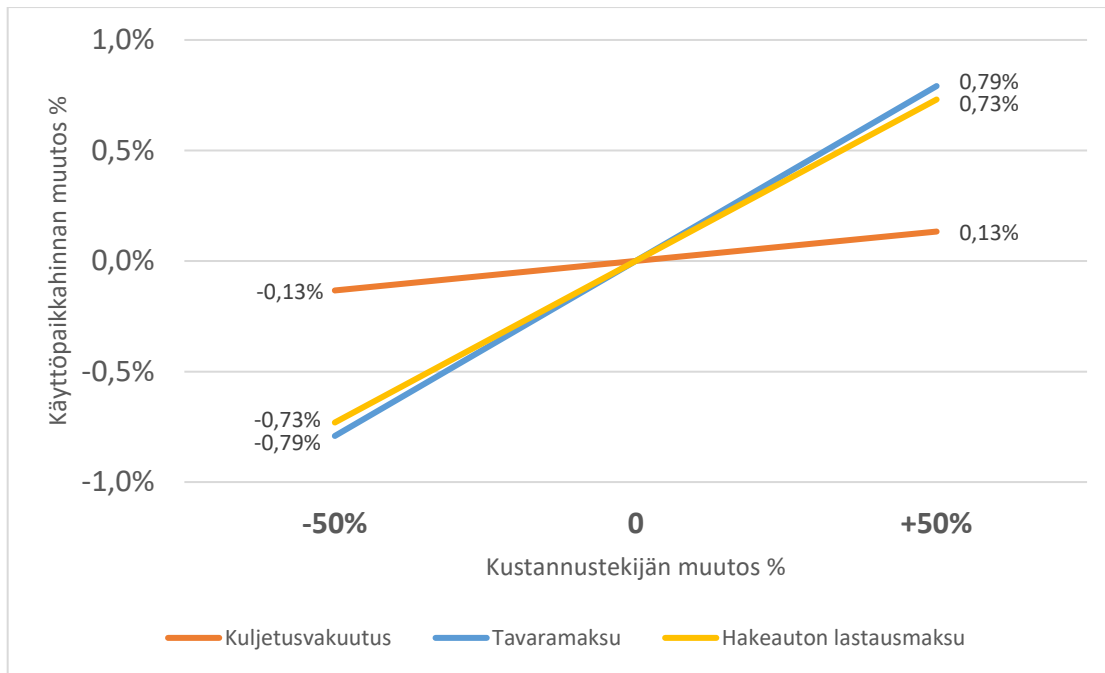
hakkeen hintaa muutetaan $\pm 50\%$, niin käyttöpaikkahinta muuttuu vastaavasti noin $\pm 29\%$. Toiseksi merkittävin ja herkin kustannustekijä on merirahti, jolla vastaavan suuruisen muutos vaikuttaa käyttöpaikkahintaan noin $\pm 14\%$ prosenttia suuntaansa.

Käyttöpaikkahinnan muutoksen osalta vähiten merkittävä ja vähiten herkkä kustannustekijä on kuljetusvakuutus. Kuljetusvakuutuksen hinnan muuttaminen $\pm 50\%$ vaikuttaa tuontihakkeen käyttöpaikkahintaan vain $\pm 0,13\%$. Myös määräsatamassa maksettavan tavaramaksun ja hakeautojen lastausmaksun muuttaminen vaikuttavat vain vähän käyttöpaikkahintaan. Molempien kustannustekijöiden käyttöpaikkahintamuutokset jäävät alle 1% , kun niiden arvoja muutetaan $\pm 50\%$.

Mitä suurempi kulmakerroin kustannustekijän janalla on, sitä merkittävämpi sen muutos on käyttöpaikkahinnan kannalta (Kuva 13, Kuva 14). Tulosten perusteella voidaan todeta, että tuontihakkeen käyttäjän kannattaa pyrkiä minimoimaan metsähakkeen FOB-hintaa ja merirahdin kustannusta laskeakseen koko tuontitoimitusketjun käyttöpaikkahintaa.



Kuva 13. Käyttöpaikkahinnan muutos metsähakkeen FOB-hinnan, merirahdin ja laivan purkumaksun muuttuessa $\pm 50\%$.



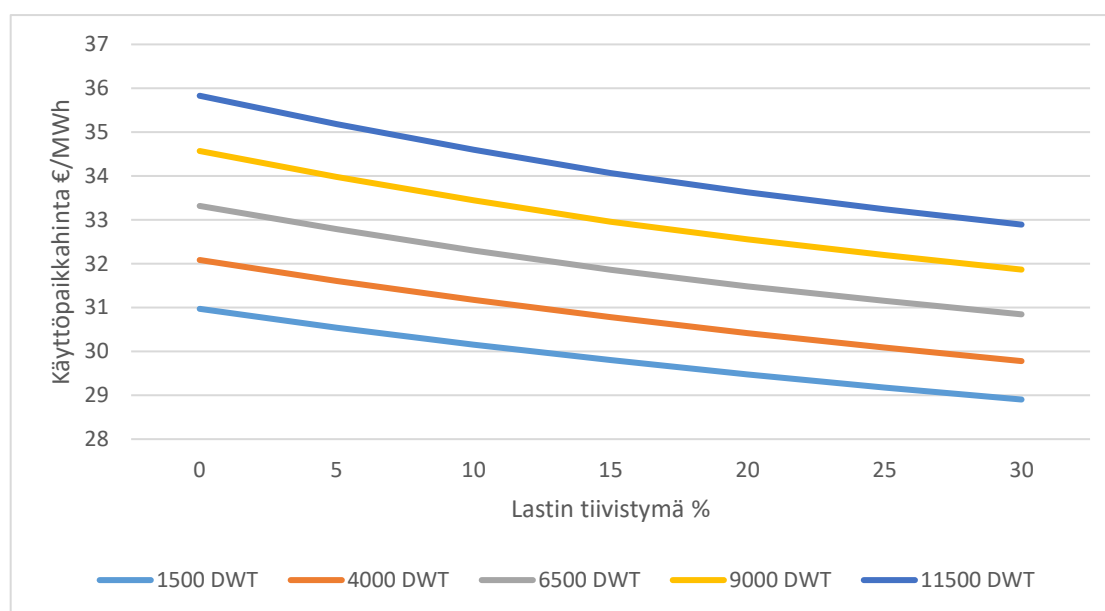
Kuva 14. Käyttöpaikkahinnan muutos kuljetusvakuutuksen, tavaramaksun ja hakeauton lastausmaksun muuttuessa ± 50 %.

3.3 Lastin tiivistymän vaikutus käyttöpaikkahintaan ja kokonaiskustannuksiin

Lastin tiivistymän kasvu laskee kaikilla tutkituilla eri kokoluokan aluksilla käyttöpaikkahintaa keskimäärin 1,6-7,5 %, mutta ei muuta erikokoisten alusten kuljettaman hakkeen käyttöpaikkahintojen suuruusjärjestystä (Taulukko 8). Käyttöpaikkahinta laskee regressiivisesti tiivistymän kasvaessa ja tiivistymästä saatava hyöty pienenee tiivistymän kasvun myötä (Kuva 15). Suuremmalla aluksella on oletetusti kalliimpi merirahdin ruumakuutiohintaa ja sen myötä käyttöpaikkahinnaltaan kalliimpi hake, kun verrataan kahden saman tiivistymänkertoimen, mutta erikokoisten irtolastialuksien lastien käyttöpaikkahintaa keskenään. Lastin tiivistymän ollessa korkea, suurempien alusten toimittaman hakkeen käyttöpaikkahinta laskee alle pienempien alusten huonosti tiivistettyjen lastien käyttöpaikkahinnan. Esimerkiksi 9 000 DWT aluksen lastin tiivistymän ollessa 30 %, sen käyttöpaikkahinta on alle 4 000 DWT ja 6 500 DWT alusten tiivistämättömien lastien käyttöpaikkahintojen (Taulukko 8). Tiivistymän kasvaessa 0 \rightarrow 30 % hakkeen energiasisältö irtolastialuksen ruumakuutiota kohti kasvaa 0,8 \rightarrow 1,04 MWh.

Taulukko 8. Käyttöpaikkahinnan muutos lastin tiivistymän (%) funktiona eri kokonaiskantavuuden (DWT) irtolastialuksilla.

Lastin tiivistymä %	Metsähakkeen käyttöpaikkahinta €/MWh					Lähtötasomuutos
	1500 DWT	4000 DWT	6500 DWT	9000 DWT	11500 DWT	
0	31,0	32,1	33,3	34,6	35,8	
5	30,5	31,6	32,8	34,0	35,2	-1,6 %
10	30,2	31,2	32,3	33,4	34,6	-3,1 %
15	29,8	30,8	31,9	33,0	34,1	-4,4 %
20	29,5	30,4	31,5	32,6	33,6	-5,5 %
25	29,2	30,1	31,2	32,2	33,2	-6,5 %
30	28,9	29,8	30,8	31,9	32,9	-7,5 %



Kuva 15. Käyttöpaikkahinnan muutos lastin tiivistymän (%) funktiona eri kokonaiskantavuuden (DWT) irtolastialuksilla.

Suurempi lasti alentaa merirahdin ja kuljetusvakuutuksen kustannuksia. Merirahdin yksikkökustannusten (€/MWh) laskeminen tiivistymän kasvaessa on suurin selittävä tekijä käyttöpaikkahinnan alenemiselle. Suurempi lasti kasvattaa seisontamaksun ja sata-mavarastoinnin €/MWh-kustannuksia, koska suuremman lastin purkaminen ja jatko-kuljettaminen kestävät kauemmin. Tiivistymän tulee olla yli 17 %, jotta eri aluksille sallitut satama- tai purkuajat ylittyvät. Kahdelle pienimmälle aluskoolle sallitut 24 tunnin purkuajat ovat riittävät 30 % tiivistymänkin kanssa. Suuremmalla aluksella sallitun purkuajan ylittäminen on kalliimpaa kuin pienemmällä aluksella, koska purkuajan ylittämisestä lankeava seisontamaksu perustuu aluksen kokonaiskantavuuteen (DWT).

Tonniperusteisten tavara-, purku- ja hakeauton lastausmaksun osalta tiivistymä tai aluksen kokoluokka eivät vaikuta käyttöpaikkahintaan, vaikka kokonaiskustannukset kasvavatkin. Korkeampi tiivistymä kasvattaa tuontihakkeen hankinnan kokonaiskustannusindeksiä kaikilla irtolastialusten kokonaiskantavuusluokilla (Taulukko 9). Jatkokuljetuksen osalta tiivistymä nostaa toimituksen kokonaiskustannuksia, muttei vaikuta käyttöpaikkahintaan koska kuljetettava energiamäärä on suurempi.

Taulukko 9. Tuontitoimitusketjun kokonaiskustannusindeksi lastin tiivistymän (%) kasvaessa eri kokonaiskantavuuden (DWT) irtolastialuksilla. Indeksiarvo 100 = 49 554 €.

Lastin tiivistymä %	Hankinnan kokonaiskustannusindeksi				
	1500 DWT	4000 DWT	6500 DWT	9000 DWT	11500 DWT
0	100	275	455	649	861
5	104	284	471	671	890
10	107	293	487	693	919
15	111	303	503	716	948
20	114	312	518	738	977
25	118	322	534	760	1006
30	121	331	550	782	1035

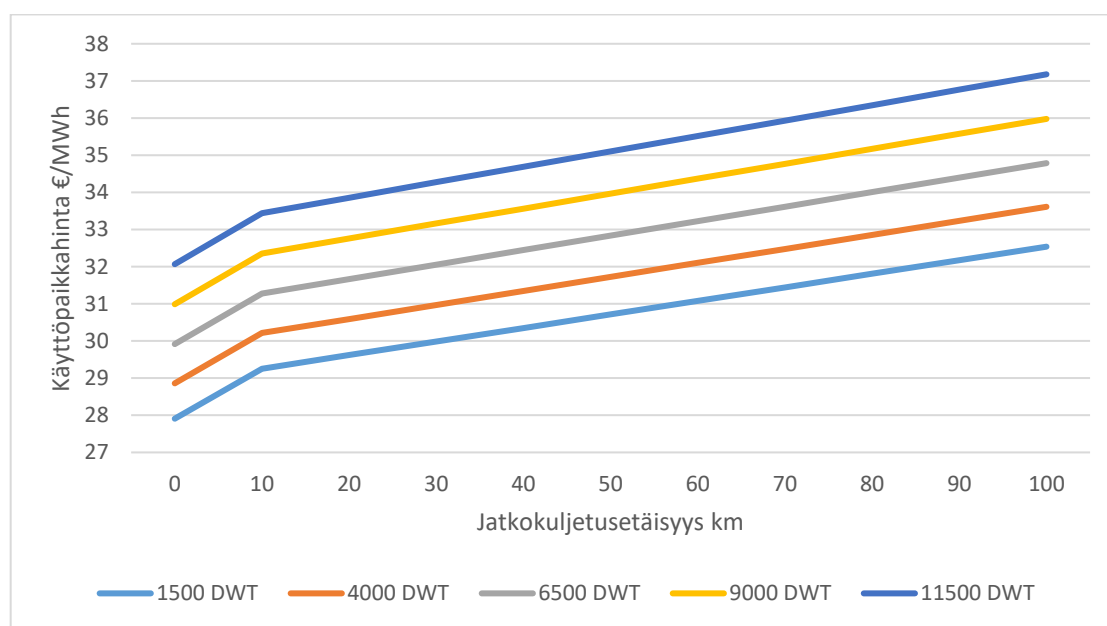
3.4 Jatkokuljetuksen vaikutus käyttöpaikkahintaan ja kokonaiskustannuksiin

Jatkokuljetusetäisyyden kasvu nostaa satamavarastoinnin ja jatkokuljetuksen €/MWh-kustannuksia, muttei vaikuta muihin kustannustekijöihin. Satamavarastoinnin kustannusten kasvu perustuu suurempaan varastoitavaan määrään, kun hakeautojen ajaessa kauemmaksi haketta joudutaan purkamaan enemmän laiturille tai muuhun varastoon hakeautojen sijaan. Jatkokuljetusetäisyyden kasvaessa myös varastointiaika pitenee, mikä kasvattaa satamavarastoinnin kustannuksia. Jatkokuljetusetäisyyden ollessa esimerkkitoimitusketjun 25 km satamavarastointiajan pidentäminen vuorokaudesta yhteen viikkoon nostaa käyttöpaikkahintaa noin 0,1 €/MWh. Vastaavasti satamavarastointiajan pidentäminen vuorokaudesta kuukauteen nostaa käyttöpaikkahintaa noin 0,7 €/MWh. Jatkokuljetusetäisyyden pidentyminen kasvattaa jatkokuljetuskustannusta kasvavan hakeautojen ajanmenekin myötä. Vaikutus olisi sama kilometriperusteisesti hinnoitellulla jatkokuljetuksella.

Jatkokuljetusetäisyyden pidentyminen kasvattaa keskimäärin käyttöpaikkahintaa 4,5-16,3 % lähtötasoon verrattuna (Taulukko 10). Jatkokuljetusetäisyyden kasvaessa käyttöpaikkahinnan kasvu hidastuu vähitellen (Taulukko 10). Käyttöpaikkahinnat kasvavat lineaarisesti jatkokuljetusetäisyyden kasvaessa (Kuva 16). Jatkokuljetusetäisyyden pidentyminen nostaa tuontihakkeen hankinnan kokonaiskustannusindeksiä (Taulukko 11). Myös kokonaiskustannusten kasvu hidastuu vähitellen jatkokuljetusetäisyyden kasvaessa.

Taulukko 10. Käyttöpaikkahinnan muutos eri jatkokuljetusetäisyyksillä eri kokonaiskantavuuden (DWT) irtolastialuksilla.

Jatkokuljetusetäisyys km	Metsähakkeen käyttöpaikkahinta €/MWh					Lähtötasomuutos
	1500 DWT	4000 DWT	6500 DWT	9000 DWT	11500 DWT	
0	27,9	28,9	29,9	31,0	32,1	
10	29,3	30,2	31,3	32,4	33,4	4,5 %
20	29,6	30,6	31,7	32,8	33,9	5,8 %
30	30,0	31,0	32,1	33,2	34,3	7,2 %
40	30,3	31,3	32,4	33,6	34,7	8,5 %
50	30,7	31,7	32,8	34,0	35,1	9,8 %
60	31,1	32,1	33,2	34,4	35,5	11,1 %
70	31,4	32,5	33,6	34,8	35,9	12,4 %
80	31,8	32,9	34,0	35,2	36,3	13,7 %
90	32,2	33,2	34,4	35,6	36,8	15,0 %
100	32,5	33,6	34,8	36,0	37,2	16,3 %



Kuva 16. Käyttöpaikkahinnan muutos jatkokuljetusetäisyyden kasvaessa. Jatkokuljetusetäisyyden ollessa nolla oletetaan käytössä olevan purkuljetin tai vastaava järjestelmä, jolloin ei tarvita hakeautojen lastausta, satamavarastointia tai jatkokuljetusta.

Taulukko 11. Tuontitoimitusketjun kokonaiskustannusindeksi jatkokuljetusetäisyyden kasvaessa eri kokonaiskantavuuden (DWT) irtolastialuksilla. Indeksiarvo 100 = 51 349 €.

Jatkokuljetusetäisyys km	Hankinnan kokonaiskustannusindeksi				
	1500 DWT	4000 DWT	6500 DWT	9000 DWT	11500 DWT
0	100	274	456	650	862
10	105	287	476	678	899
20	106	290	482	687	910
30	107	294	488	695	921
40	109	298	494	704	932
50	110	301	500	712	943
60	111	305	506	720	955
70	113	308	512	729	966
80	114	312	518	737	977
90	115	316	524	746	988
100	117	319	530	754	999

Jos voimalaitos sijaitsee satamassa ja omaa purkukuljettimen tai muun vastaavan järjestelmän, voidaan irtolastialuksen metsähakelasti purkaa suoraan käyttöön tai laitoksen omaan välivarastoon ilman hakeautojen lastausmaksua, satamavarastointia ja jatkokuljetusta. Kuvassa 16. esitetyt käyttöpaikkahinnat jatkokuljetusetäisyydellä nolla kilometriä vastaavat tätä skenaariota. Keskimääräinen erotus käyttöpaikkahinnassa 10 km jatkokuljetusta vaativaan tuontitoimitusketjuvariaatioon on noin 1,4 €/MWh, mikä voidaan laskea esimerkiksi purkukuljettimen omaavan voimalaitoksen maksukyvyyn eduksi verrattaessa pidemmällä sisämaassa sijaitsevaan voimalaitokseen. Toki on muistettava, ettei tällöin ole huomioitu vaihtoehtoisen purkutavan ja -järjestelmän rakentamisesta aiheutuneita kustannuksia energiayksikköä kohti.

3.5 Hakeautojen määrän vaikutus käyttöpaikkahintaan ja kokonaiskustannuksiin

Hakeautojen määrän muutos ei muuta käyttötuntiperusteista jatkokuljetuskustannusta, koska suurempi hakeautojen määrä tarkoittaa pienempää hakeautokohtaista ajanmenekkiä. Pienemmällä hakeautojen määrällä hakeautokohtainen ajanmenekki taasen kasvaa, mutta kokonaisajanmenekki riippuu edelleen irtolastialuksen lastin koosta. Suuremmalla lastilla on suurempi jakaja suuremmasta kokonaiskustannussummasta huolimatta, mikä pitää jatkokuljetuskustannuksen (€/MWh) samana kuin pienemmällä aluksella. Tässä laskentamallissa työn kesto ei vaikuta käyttötuntiperusteiseen hinnoitteluun ja hinnat ovat vakiot. Jos käyttötuntihinnat nousisivat tuntimäärän ollessa hyvin pieni

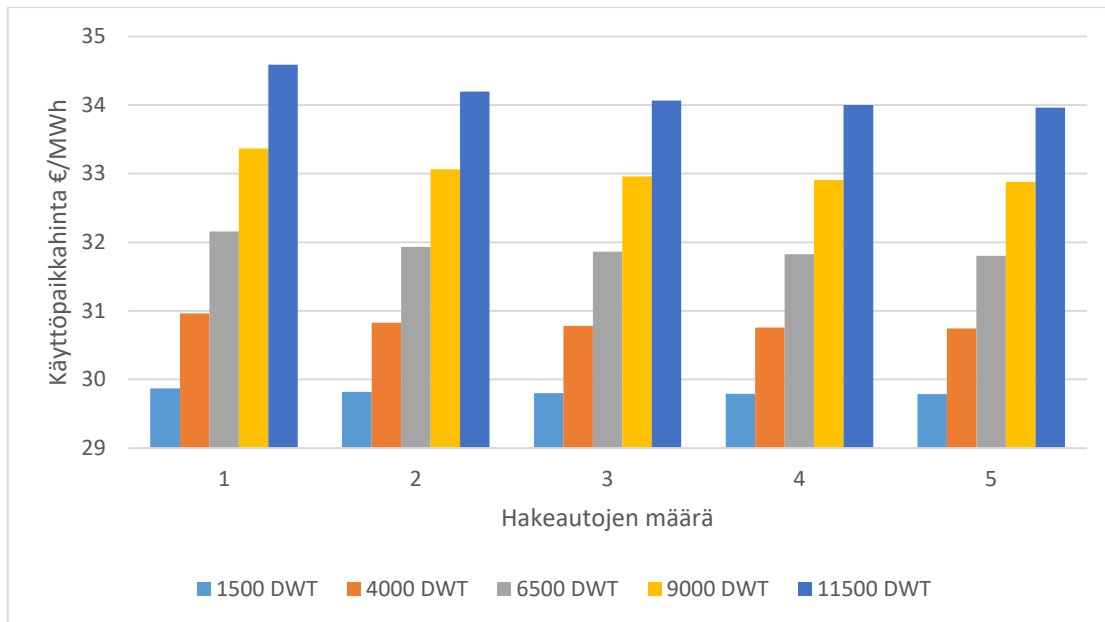
tai hyvin suuri, hakeautojen määrän muutos vaikuttaisi eri tavoin tuontihakkeen käyttöpaikekahintaan.

Hakeautojen määrän kasvaessa joudutaan haketta purkamaan laiturille tai satamavarastoon vähemmän kuin pienemmällä hakeautojen määrällä. Kun varastoitavan hakkeen määrä pienenee ja varastointiaika lyhenee, varastointikustannus pienenee. Hakeautojen määrän vähentyessä joudutaan haketta purkamaan laiturille tai satamavarastoon enemmän kuin suuremmalla määrällä hakeautoja. Kun varastoitavan hakkeen määrä kasvaa ja varastointiaika pitenee, varastointikustannus kasvaa.

Hakeautojen määrän kasvamisesta saatava suhteellinen hyöty pienenee hakeautojen määrän kasvaessa. Toinen hakeauto laskee käyttöpaikekahintaa keskimäärin 0,7 % ja viides hakeauto 1,1 % eli vain 0,4 % yksikköä enemmän kuin toinen hakeauto (Taulukko 12). Hakeautojen määrän kasvu ei juuri alenna käyttöpaikekahintaa enää toisen hakeauton käyttöönoton jälkeen ja suuremmalla aluksella tuotaessa hyöty toisesta hakeautosta on suurempi kuin pienemmällä aluksella (Kuva 17). Vastaavasti yhden hakeauton lisääminen laskee tuontitoimitusketjun kokonaiskustannusindeksiä (Taulukko 13). Tuontitoimitusketjun kokonaiskustannus laskee myös alenevasti hakeautojen määrän kasvaessa.

Taulukko 12. Käyttöpaikekahinnan muutos hakeautojen määrän kasvaessa eri kokonaiskantavuuden (DWT) irtolastialuksilla.

Hakeautojen määrä	Metsähakkeen käyttöpaikekahinta €/MWh					Lähtötasomuutos
	1500 DWT	4000 DWT	6500 DWT	9000 DWT	11500 DWT	
1	29,9	31,0	32,2	33,4	34,6	
2	29,8	30,8	31,9	33,1	34,2	-0,7 %
3	29,8	30,8	31,9	33,0	34,1	-0,9 %
4	29,8	30,8	31,8	32,9	34,0	-1,0 %
5	29,8	30,7	31,8	32,9	34,0	-1,1 %



Kuva 17. Käyttöpaikkahinnan muutos hakeautojen määrän kasvaessa.

Taulukko 13. Tuontitoimitusketjun kokonaiskustannusindeksi hakeautojen määrän kasvaessa eri kokonaiskantavuuden (DWT) irtolastialuksilla. Indeksiarvo 100 = 54 963€.

Hakeautojen määrä	Hankinnan kokonaiskustannusindeksi				
	1500 DWT	4000 DWT	6500 DWT	9000 DWT	11500 DWT
1	100	275	458	653	868
2	100	273	454	647	859
3	100	273	453	645	855
4	100	273	453	644	854
5	100	273	452	644	853

3.6 Teknisten muuttujien yhteisvaikutus

Taulukossa 14. on esitetty, miten käyttöpaikkahinta kehittyy kahdessa eri tilanteessa, kun useampaa kuin yhtä teknistä muuttujaa muutetaan samalla kertaa:

- A. Tiivistymä on 0 %, kuljetusetäisyys 25 km ja hakeautoja on käytössä yksi.
- B. Tiivistymä on 30 %, kuljetusetäisyys 25 km ja hakeautoja on käytössä viisi.

Käyttöpaikkahinnat ovat tilanteessa B keskimäärin 8,4 % pienempiä kuin tilanteessa A (Taulukko 14). Teknisten kustannustekijöiden yhteisvaikutus voi olla merkittävä sekä metsähakkeen käyttöpaikkahinnan että tuontitoimitusketjun kokonaiskustannusten

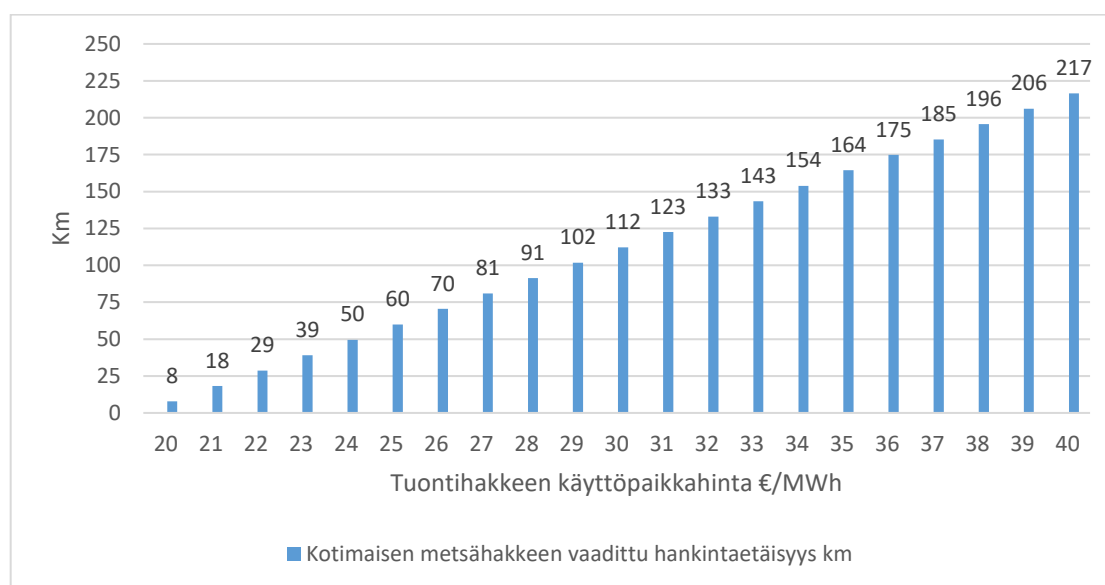
osalta. Täten irtolastialuksen lastaamisen ja jatkokuljetuslogistiikan tehokkuuteen panostaminen näkyy alempana käyttöpaikkahintana.

Taulukko 14. Käyttöpaikkahinnan keskimääräinen muutos lastin tiivistymää (%) ja käytettävissä olevien hakeautojen määrää muutettaessa jatkokuljetusetäisyyden ollessa vakio eri kokonaiskantavuuden (DWT) irtolastialuksilla.

Tilanne	Käyttöpaikkahinta €/MWh					Lähtötasomuutos
	1500 DWT	4000 DWT	6500 DWT	9000 DWT	11500 DWT	
A	31,0	32,2	33,6	34,9	36,3	
B	28,9	29,7	30,8	31,8	32,8	-8,4 %

3.7 Hankinta-alueen laajentamisen vaikutus ja FOB-hinnan merkitys

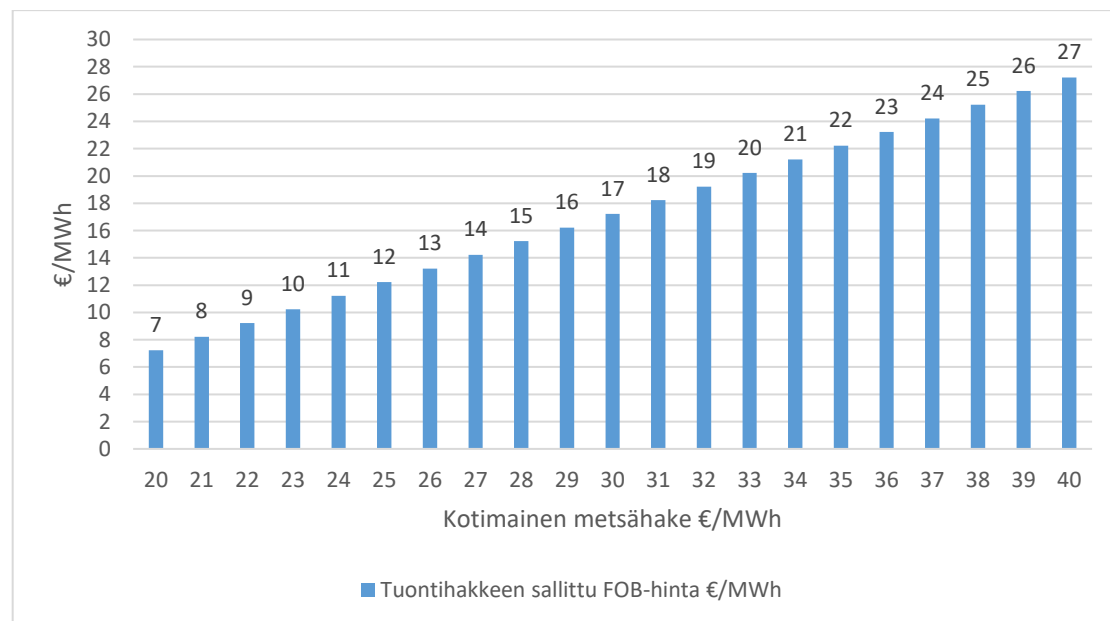
Kuljetuksen osuus kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahinnasta on noin 23 % (Goltsev *ym.* 2011). Tässä tutkimuksessa oletin kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahinnan olevan lähtötilanteessa noin 25 €/MWh. Kotimaista metsähaketta tulee tällöin kuljettaa korkeintaan 120,3 km etäisyydellä loppukäyttöpaikasta, jotta se maksaa yhtä paljon tai enemmän kuin esimerkkituontitoimitusketjun metsähake noin 30,8 €/MWh. Tämä tarkoittaa keskimääräisen 60 km kuljetusetäisyyden kaksinkertaistumista (Tilastokeskus 2016 & 2017). Kuvassa 18. on esitetty kotimaisen metsähakkeen maksimikuljetusetäisyys tuontihakkeen käyttöpaikkahinnan mukaan.



Kuva 18. Kotimaisen metsähakkeen vaadittu kuljetusetäisyys tuontihakkeen käyttöpaikkahinnan mukaan.

Tuontihakkeen FOB-hinnan tulee laskea lähtösatamassa, jotta tuontitoimitusketju olisi kotimaista autotoimitusketjua kannattavampi. Hakkeen FOB-hinta on nostettu keskiöön tässä tarkastelussa, koska se on tuontitoimitusketjun merkittävin kustannustekijä. Esimerkkituontitoimitusketjussa hakkeen FOB-hinnan tulee olla korkeintaan 12,2 €/MWh, jotta päädytään samalle tasolle kotimaisen hakkeen 25 €/MWh käyttöpaikkahinnan kanssa. Kuvassa 19. on esitetty tuontihakkeen maksimi FOB-hinta kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahinnan muuttuessa, kun tuontitoimitusketju sisältää 25 km jatkokuljetuskustannuksen.

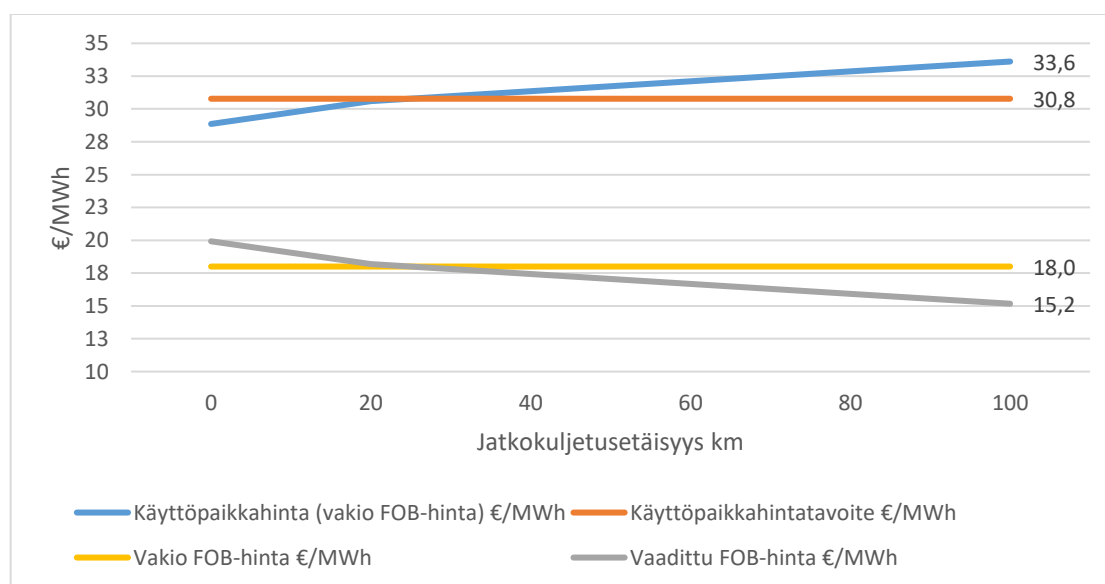
Kuvassa 19. esitetyt tuontihakkeen maksimi FOB-hinnat ovat varsin matalia, kun niitä verrataan esimerkiksi virolaisen RMK:n (Riigimetsa majandamise keskus 2019) tilastohintoihin, jotka esittävät hakkeen hinnan asiakkaan terminaaliin tai käyttöpaikalle toimitettuna. RMK:n (2019) keskihinta terminaaliin toimitetulle metsähakkeelle oli vuonna 2018 noin 15,8 €/MWh. FOB-hinta on kuitenkin käytännössä aina terminaali-toimitushintaa korkeampi, koska siihen sisältyy terminaali-toimituksen lisäksi lastaaminen irtolastialukseen. Myös Latvian valtion metsäyhtiön vuoden 2018 kotimaan hake-toimitusten keskihinta 12,7 €/MWh ja Liettuan valtion metsäyhtiön vuoden 2019 hakeettamattoman energiapuun keskihinta 15,5 €/MWh ylittävät kotimaisen autotoimitusketjun käyttöpaikkahintaan vaaditun 12,2 €/MWh FOB-hinnan ilman lastaamistakin (Latvijas valsts meži 2019, Valstybinis miškų ūrėdija 2019).



Kuva 19. Tuontihakkeen maksimi FOB-hinta kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahinnan mukaan.

Näiden tilastohintojen perusteella voidaan todeta, että tuontihakkeen vaaditut FOB-hintatasot ovat epärealistisen matalia. Syynä tähän ovat kiinteiden biopolttoaineiden kasvava kansainvälinen ja paikallinen kysyntä. Täten kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahinnan tulisi kallistua huomattavasti, jotta tuontihakkeen käyttöpaikkahinta realistisilla, esimerkiksi 18 €/MWh, FOB-hinnoilla olisi alle kotimaisen hintatason.

Tuontihakkeen edullisempi FOB-hinta mahdollistaa pidemmän jatkokuljetusetäisyyden ja korkeampi FOB-hinta vaatii lyhyemmän jatkokuljetusetäisyyden, jotta käyttöpaikkahinta pysyy samana. Esimerkkituontitoimitusketjun jatkokuljetusetäisyyden putoaminen 25 → 5 km mahdollistaisi noin 0,7 €/MWh korkeamman FOB-hinnan. Vastaavasti Kuvassa 20. on esitetty, miten FOB-hinnan tulee laskea, jos halutaan pidemmällä jatkokuljetusetäisyydellä saada edelleen sama käyttöpaikkahinta. Huomionarvoista on, että lyhytkin tuontihakkeen jatkokuljetus pitää tuontihakkeen käyttöpaikkahinnan varsin korkeana verrattuna kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahintaan. Pääasialliset selittävät tekijät ovat monivaiheinen ja siten kalliimpi toimitusketju yhdessä lähtökohtaisesti hintavan metsähakkeen kanssa, mutta myös hakeautojen lastaus- ja purkuajat aiheuttavat kustannuksia lyhyelläkin jatkokuljetusetäisyydellä.



Kuva 20. Vaadittu tuontihakkeen FOB-hinta suhteessa jatkokuljetusetäisyyteen ja käyttöpaikkahintatavoitteeseen. Kuvassa on esitetty myös, miten käyttöpaikkahinta käyttäytyisi, jos FOB-hinta olisi vakio jatkokuljetusetäisyyden kasvaessa.

4 TARKASTELU

Tämän työn tavoitteena oli lisätä ymmärrystä kotimaisten voimalaitosten taloudellisista ja operatiivisista vaikuttimista metsähakkeen mahdollisen tuonnin kannalta, tuoda esiin uutta tietoa meritse kuljetettavan tuontihakkeen toimitusketjusta kustannustekijöineen, tutkia tuontihakkeen toimitusketjun kustannustekijöiden osuutta ja merkitystä toimitusketjun käyttöpaikkahinnan ja kokonaiskustannuksien kannalta sekä osoittaa, miten irtolastialuksen kapasiteetti ja lastin tiivistymä vaikuttavat tuontitoimitusketjun käyttöpaikkahintaan ja kokonaiskustannuksiin.

Tutkimuksen päätutkimuskysymys oli, missä tilanteessa voimalaitoksen on kannattavampaa hankkia metsähaketta ulkomailta kuin laajentaa kotimaan hankinta-aluetta. Voimalaitoksen on kannattavampaa hankkia metsähaketta ulkomailta, kun tuontihakkeen käyttöpaikkahinta on sama tai alittaa kotimaisen hankinnan käyttöpaikkahinnan. Jos oletetaan kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahinnan olevan 25 €/MWh 60 km hankintaetäisyydellä, tulee hankintaetäisyyden yli kaksinkertaistua 120,3 km, jotta esimerkkituontitoimitusketjun käyttöpaikkahinta noin 30,8 €/MWh ylittyy. Täten voidaan todeta kannattavuuden olevan riippuvainen eri toimitusketjujen käyttöpaikkahintojen välisestä erotuksesta. Mitä suurempi on tuontitoimitusketjun ja kotimaisen autotoimitusketjun erotus, sitä enemmän voimalaitos voi laajentaa kotimaista hankinta-aluettaan ennen kuin metsähakkeen tuonti on kannattavaa.

Apututkimuskysymyksiä olivat, kuinka suuri irtolastialuksen kapasiteetti voi olla, jotta purkuaika ja -kustannus sekä jatkokuljetuskustannus pysyvät mahdollisimman alhaisina, mikä on lastin tiivistymän vaikutus edellä mainittuihin kustannuksiin ja mikä on tuontihakkeen keskimäärin pisin kannattava jatkokuljetusetäisyys määräsatamasta.

Suuremman aluksen purkaminen vie pidempään, mutta suuremmalle alukselle sallitaan myös pidempi satama- tai purkuaika kuin pienemmälle alukselle. Täten aluksen koon kasvulla ei ole negatiivista vaikutusta purkuajan suhteen, kun pysytään sallittujen purkuaikojen puitteissa. Jos purkuaika ylitetään, siitä aiheutuva seisontamaksu on suuremmalla aluksella suurempi. Irtolastialuksen kapasiteetti ei ole merkittävä tekijä purkukustannuksen osalta, koska aluksen purkaminen on tyypillisesti hinnoiteltu muodossa

€/t. Tällöin €/MWh-muotoinen purkukustannus pysyy samana aluskoon kasvaessa, mutta tuontitoimitusketjun kokonaispurkukustannus kasvaa aluskoon kasvaessa, koska kuljetettavien tonnien määrä on suurempi.

Jatkokuljetuskustannusten osalta aluksen koolla ei ole merkitystä, koska tässä tutkimuksessa jatkokuljetus oli hinnoiteltu käyttötuntikustannusperusteisesti. Suuremman aluksen lastin jatkokuljettaminen vie pidempään kuin pienemmän aluksen lastin, mutta samalla kasvavan kokonaiskustannuksen jakajana on suurempi energiamäärä. Tällöin suuremman aluksen €/MWh-muotoinen jatkokuljetuskustannus pysyy samana kuin pienemmällä aluksella. Jatkokuljetuskustannuksen osalta merkittävämpää on varsinainen jatkokuljetusetäisyys.

Metsähakelastin tiivistymä vaikuttaa merirahdin, kuljetusvakuutuksen, seisontamaksun ja satamavarastoinnin kustannuksiin. Tiivistymä laskee merirahdin ja kuljetusvakuutuksen kustannuksia, mutta nostaa niitä seisontamaksun ja satavarastoinnin osalta. Tonniperusteisten tavara-, purku- ja lastausmaksujen osalta tiivistymä tai aluksen koko eivät vaikuta käyttöpaikkahintaan, vaikka kokonaiskustannukset kasvavatkin. Koko tuontitoimitusketjua tarkasteltaessa tiivistymän kasvu alentaa käyttöpaikkahintaa, mutta nostaa toimitusketjun kokonaiskustannuksia. Suurempi tiivistymä vaatii enemmän konetyötä eli kuluttaa enemmän polttoainetta ja on siten kalliimpaa, mutta FOB-kaupassa lastaaminen ja sen kustannukset kuuluvat myyjälle. Tällöin suuremman tiivistymän aikaansaamisen kustannukset hämärtyvät hakkeen ostajan kannalta, koska FOB-hinnan muodostuminen on hakkeen myyjän sisäistä tietoa operatiivisista kustannuksista.

Tuontihakkeen kannattava jatkokuljetusetäisyys määräsatamasta riippuu tuontihakkeen käyttöpaikkahintatavoitteesta ja vaihtoehtoisen polttoaineen tai toimitusketjun käyttöpaikkahinnasta. Jatkokuljetusetäisyyden minimointi on kustannusmielessä kannattavaa. Jos jatkokuljetusetäisyys kasvaa, tulee esimerkiksi tuontihakkeen FOB-hintaa pyrkiä laskemaan. Koska jatkokuljetuskustannus ei ole tuontitoimitusketjun merkittävin kustannustekijä, ei pelkästään sen avulla voida kuitenkaan parantaa tuontitoimitusketjun kilpailukykyä, vaan koko toimitusketjua pitää tarkastella ja optimoida kokonaisuutena.

Tässä työssä tutkimuskysymyksiin vastaaminen onnistui kohtuullisesti. Aineiston käsittelyn yhteydessä tutkimuksen painopiste siirtyi hieman tutkimaan erityisesti teknisten muuttujien muutosten merkitystä käyttöpaikkahinnalle ja tuontitoimitusketjun kokonaiskustannuksille. Tämä oli sinänsä hyödyllistä ja vastasi tutkimuksen tavoitteita uutta tietoa tuovan luonteensa takia, mutta ei täysin vastannut tutkimuskysymysten asettelua.

Tutkimuksen hypoteesit pitivät pääsääntöisesti hyvin paikkansa. Tuloksien perusteella voidaan todeta, että kotimaisen metsähakkeen käyttöpaikkahinnan tulee olla huomattavan korkea, jotta voimalaitoksen on kannattavaa tuoda metsähaketta ulkomailta. Tutkimuksen perusteella irtolastialuksen kapasiteetille ei voida mielestäni asettaa varsinaisia maksimiarvoja, vaan oleellisempaa on käyttää operatiiviselta kannalta sopivinta alusta esimerkiksi toimituserän koon ja satamien rajoitteiden mukaisesti. Lastin tiivistymän vaikutus on monitahoisempi kuin alkuperäisessä hypoteesissani oletin. Tiivistymän kasvu laskee suuremmalla aluksella käyttöpaikkahintaa suhteessa hieman enemmän kuin pienemmällä aluksella, mutta samalla nostaa toimitusketjun kokonaiskustannuksia enemmän kuin pienemmällä aluksella kuitenkaan vaikuttamatta erityisesti lastin purkutai jatkokuljetuskustannuksiin. Oletukseni tuontihakkeen kannattavasta jatkokuljetusetäisyydestä lyhyempänä kuin kotimainen keskimääräinen hankintaetäisyys jäi hieman vajavaiseksi, koska sitä ei pystytty sellaisenaan esittämään. Kuitenkin lähtöoletus siitä, että jatkokuljetusetäisyys kannattaa minimoida, piti paikkansa.

Tutkimuksen oletuksia ja lähtökohtia tarkasteltaessa voidaan todeta, että lähtöoletukset tuontihakkeen heikommasta kilpailukyvystä ja tuontihakkeen käyttöpaikkahinnan alentamisen hankaluudesta olivat oikeita. Toisaalta lähtöoletus jatkokuljetusetäisyyden optimoinnista riittävänä tuontitoimitusketjun kannattavuuden parantajana oli virheellinen, koska totesin sen olevan yksinään riittämätöntä. Oletukset tutkimuskysymysten vaatimien laskelmien ja tarkastelujen osalta olivat osin virheelliset, koska tutkimuskysymykset olivat keskittyneet vain tiettyihin tuontitoimitusketjun kustannustekijöihin. Todellisuudessa esimerkiksi irtolastialuksen koon tai lastin tiivistymän merkityksen selvittäminen vaati aineiston laajempaa käsittelyä ja kaikkien määriteltyjen kustannustekijöiden tarkastelua kokonaisvaikutusten selvittämiseksi.

Suomalaisessa metsähaketta käsittelevässä tutkimuksessa pääpaino on ollut kotimaisen hakkeen osalta erilaisissa tuotantotavoissa, tuotetun hakkeen laadussa, hakkeen käytettävyydessä ja tuotantoketjujen tehokkuudessa. Tuontihakkeen osalta aiempi tutkimus on keskittynyt voimakkaasti Venäjältä tapahtuvaan tuontiin ja on käsitellyt muun muassa tuontimäärien kehitystä (Mutanen *ym.* 2005), puutulleja vaikutuksineen (Jutila *ym.* 2010) ja autotoimitusketjujen operatiivisia tekijöitä, kuten tulli- ja rajamuodollisuuksien ajanmenekkiä osana toimitusketjua (Goltsev *ym.* 2011).

Tämä tutkimus keskittyi Baltiasta irtolastialuksella tapahtuvaan metsähakkeen tuontiin ja tuotti uutta tietoa siitä, mitä vaiheita ja toimijoita kuvatus kaltaisen tuontitoimitusketju voi sisältää. Lisäksi tutkimus tuotti uutta tietoa siitä, miten tekniset muuttujat lastin ja käytettävän kaluston osalta vaikuttavat loppukäyttäjän osalta oleelliseen käyttöpaikkahintaan. Tutkimus osoittaa, mitä tulee huomioida metsähaketta irtolastialuksella tuotaessa ja avaa sen myötä uuden näkökulman suomalaisessa metsähaketta käsittelevässä tutkimuksessa.

Tulokset ovat vahvasti lähtöarvosidonnaisia, mutta perusajatukseltaan laskentamalli on yleistettävissä ja hyödynnettävissä jatkossakin meritse tuotavan metsähakkeen kustannustekijöitä selvitettäessä. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää harkittaessa FOB-hinnoitellun metsähakkeen tuontia irtolastialuksella ja verrattaessa tuontihakkeen käyttöpaikkahintaa kotimaisen metsähakkeen autotoimitusketjun käyttöpaikkahinnan kanssa. Tulosten vertaaminen aiempiin tutkimustuloksiin ei ole mielekästä eikä mahdollista, koska vastaavaa tarkastelua ei ole aiemmin tehty.

Aineiston tulkinnanvaraisuudet ja ongelmat liittyvät pääsääntöisesti yksinkertaistamiseen, jota on paikoin tehty laskentamallin luomisen helpottamiseksi. Esimerkiksi sallitun satama-ajan laskeminen aluksen koon mukaan kiinteällä purkuteholla ei ota huomioon oletettua purkutehon kasvumahdollisuutta suuremmalla irtolastialuksella. Jatkokuljetuksen osalta käytetty käyttötuntikustannus-malli voidaan korvata muilla hinnoittelutavoilla, kuten kilometri- tai tonniperusteisesti. Tällöin tulokset oletettavasti eroavat tässä tutkimuksesta esitetyistä. Samoin kaikille kustannustekijöille esitetyt esimerkit toimitusketjun hinnat ovat yksittäisten toimijoiden tai julkisten hinnastojen perusteella generoituja ja vaativat päivitystä, jos laskentamallia hyödynnetään uudestaan.

Esimerkiksi metsähaketta kuljettavien autojen kapasiteettina käytetty 140 i-m³ ei vastaa nykysäädösten mukaista kalustoa (Venäläinen 2019). Nykykaluston maksimimassa 76 t mahdollistaa jopa 155 i-m³ hakekapasiteetin (Venäläinen 2019). Nykyisten säädösten mukaisen hakeauton kapasiteetin käyttäminen laskelmissa laskisi tuontihakkeen käyttöpaikkahintaa jatkokuljettamisen tehokkuuden parantuessa. Metsähakkeen tuonnin monista vaiheista ja esimerkiksi merirahdin dynaamisesta hinnoittelusta johtuen tuontitoimitusketjun käyttöpaikkahinta on jatkuvassa muutoksessa.

Tässä tutkimuksessa määrittelin tuontihakkeen toimitusketjun alkavan lähtösatamasta tai sen välittömästä läheisyydestä. Tarkastelun laajentaminen lähtöpäästä käsin, esimerkiksi selvittämällä tyypillinen metsähakkeen tuottaja, vertaamalla paikallisia tuotantotapoja suomalaisiin käytäntöihin, tarkastelemalla tuotannon läpimenoaikaa, varastointiajan pituutta ja toimintamalleja lähtösatamissa saataisiin kattavampi ja laajempi malli koko tuontitoimitusketjusta.

Ilmastonmuutoksen, kasvihuonekaasupäästöjen ja niiden vähentämisen ollessa ajan-kohtaisia puheenaiheita, näiden kahden esitetyn toimitusketjun hiilijalanjäljen laskeminen tuotettua energiayksikköä kohti matkalla kannolta kattilaan olisi mielenkiintoinen ulottuvuus. Tässä tutkimuksessa näkökulma pysyi taloudellisissa ja operatiivisissa reunaehdoissa. Toimitusketjujen kokonaiskasvihuonekaasupäästöjen kytkeminen mukaan avartaisi näkökulmaa ja antaisi metsähakkeen loppukäyttäjille työkaluja tarkastella hankintapäätöksiään monipuolisemmin.

Satama-, laiva- ja jatkokuljetusoperaatioiden vielä tarkempi mallintaminen ja tutkiminen esimerkiksi simuloimalla tarjoaisi mahdollisuuksia ymmärtää paremmin tuontitoimitusketjun eri vaiheiden yhteensovittamista ja kriittisiä rajapintoja. Esimerkiksi työaikojen merkitys satamaoperaatioille jäi kokonaan tässä tutkimuksessa tarkastelujen ulkopuolelle. Samoin lastaustehon merkitystä en tutkinut lainkaan, vaan keskityin vain purkupään tehokkuuteen. Tässä tutkimuksessa purkutehon osalta käytin vakioarvoja, mutta todellisuudessa lastit vaihtelevat koostumukseltaan ja purkutehon vaihdellessa myös purkutyön ajanmenekki muuttuu. Samoin oletama jatkuvakäyntisestä purkamisesta ei vastaa todellisuutta, vaan purkukalustoa tulee välillä siirtää ja työn suorittajat

pitävät taukoja. Simulointi olisi oletettavasti mahdollista ulottaa lähes kaikkiin tuontitoimitusketjun vaiheisiin, joissa metsähaketta käsitellään.

Kotimaiselle metsähakkeen autotoimitusketjulle ja puunhankinnassa yleisesti voidaan määritellä toimitusketjun suunnittelun ja johtamisen kustannus. Tämän kustannuksen selvittäminen tuontitoimitusketjun osalta tarkentaisi edelleen näiden kahden eri toimitusketjun vaiheiden ja kustannusten vertailumahdollisuuksia. Yhtenä lähestymistapana voisi olla toimihenkilötyötarpeen kartoittaminen eri työvaiheissa ja siten kokonaishenkilötarpeen arviointi kustannusten pohjaksi.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kotimaisten metsähakkeen käyttäjien toimintaympäristö on muuttumassa muun muassa kivihiilikiellon (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018), biojalostamoprojektien ja mahdollisen turpeen energiakäytön kiellon seurauksena. Myös EU-tasolla yhä kunnianhimoisempi ilmastopolitiikka lisää Itämeren alueella kiinteiden biopolttoaineiden kysyntää. Täten on odotettavissa, että näiden trendien myötä kotimaisen metsähakkeen hinta tulee nousemaan, jolloin yhä useampi metsähakkeen käyttäjä joutuu harkitsemaan sen tuontia ulkomailta yhtenä hankintakanavana.

Metsähakkeen tuonti ei ole kannattavaa nykyisellä kotimaan hintatasolla, mutta ymmärryksen kasvun merkitys on oleellista uusien hankintakanavien ja toimitusketjujen käyttöönottamiseksi tarpeen niin vaatiessa esimerkiksi kotimaisen metsähakkeen saatavuuden heikennyttyä. Metsähakkeen tuonti voi olla myös strateginen linjaus pelkän polttoainehankinnan lisäksi. Tällöin tuonnilla saatetaan pyrkiä kontrolloimaan kotimaista hintatasoa tai takaamaan polttoaineen saatavuus. Tällöin varsinaisen käyttöpaikkahinnan merkitys laskisi loppukäyttäjän näkökulmasta.

Tuontitoimitusketjua tulee suunnitella ja johtaa kokonaisuutena tuontihakkeen käyttöpaikkahinnan minimoimiseksi ja sen kilpailukyvyn parantamiseksi. Monivaiheisessa toimitusketjussa lähes kaikki kustannustekijät ja tekniset muuttujat ovat kytköksissä toisiinsa ja vaikuttavat siten tuontitoimitusketjun käyttöpaikkahintaan ja kokonaiskustannuksiin. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella on suositeltavaa hankkia mahdollisimman halpaa FOB-toimitusehdon metsähaketta, suorittaa merirahti operatiivisesti järkevällä irtolastialuksella, tiivistää lasti niin hyvin kuin mahdollista, pitää jatkokuljetusetäisyys määräsatamasta mahdollisimman pienenä ja käyttää jatkokuljettamisessa useampaa kuin yhtä hakeautoa.

KIRJALLISUUS

- Alandia Vakuutus. 2019. Tavaravakuutus. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.alandia.fi/yritysasiakkaat/kuljetusvakuutus/tavaravakuutus>. [Lainattu 2.3.2019].
- Alandia Vakuutus. 2019. Kuljetusvakuutuksen yleiset sopimusehdot. [Internet-sivu]. Saatavilla: https://www.alandia.fi/sites/www.alandia.fi/files/attachments/documents/kuljetusvakuutuksen_yleiset_sopimusehdot.pdf. [Lainattu 2.3.2019].
- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT julkaisuja 258: 66-81. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>.
- Anttila, P., Nivala, V., Salminen, O., Hurskainen, M., Kärki, J., Lindroos, T.J. & Asikainen A. 2018. Regional balance of forest chip supply and demand in Finland in 2030. *Silva Fennica*, vol. 52, no. 2: 10-16. <https://doi.org/10.14214/sf.9902>.
- ASTM International. 2013. Properties, Specifications, and Quality of Crude Oil and Petroleum Products. [Internet-sivu]. Saatavilla: https://www.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/MNL/PAGES/MNL5820131211604.htm. [Lainattu 26.1.2019].
- AtoB@C. 2019a. Vessels. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.atobac.se/vessels>. [Lainattu 22.2.2019].
- AtoB@C. 2019b. M/S Polyaland. [Internet-sivu]. Saatavilla <https://www.atobac.se/vessels/m-s-translontano> [Lainattu 2.3.2019].
- Baltic Exchange. 2019. Baltic Exchange Dry Index. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.balticexchange.com/market-information/indices/BDI/>. [Lainattu 1.3.2019].
- Baltpool. 2019. Baltpool wood chips spot Lithuania index. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.baltpool.eu/en/>. [Lainattu 28.1.2019].
- Baltpool. 2018a. About exchange. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.baltpool.eu/en/about-exchange/>. [Lainattu 27.1.2019].
- Baltpool. 2018b. Supply price by regions. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.baltpool.eu/en/supply-price-by-regions/#2018-11-01-mwh-sm>. [Lainattu 19.12.2018].
- Belarusian Universal Commodity Exchange. 2019. Trade for timber – List of timber. . [Internet-sivu]. Saatavilla: <http://www.butb.by/trade-for-timber/list-of-timber/>. [Lainattu 27.1.2019].
- Belbo, H. & Talbot, B. 2014. Systems analysis of ten supply chains for whole tree chips. *Forests* 2014, Volume 5, Issue 9: 1-22. <https://doi.org/10.3390/f5092084>.
- Bioenergy Europe. 2018. GoodChips Wood Chip Certification. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://bioenergyeurope.org/activities/european-ongoing-projects/goodchips-wood-chips-certification/>. [Lainattu 27.1.2019].
- Biomasspool. 2018. Argus media: Denmark to launch wood chip trading exchange. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://biomasspool.com/en/news/argus-media-denmark-to-launch-wood-chip-trading-exchange/>. [Lainattu 27.1.2019].

- BP. 2018. Statistical review of world energy. 67th edition: 12-40.
<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>.
- Bradley, D., Diesenreiter, F. & Tromborg, E. 2009. World Biofuel Maritime Shipping Study. IEA Bionergy Task 40: 3-42. https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_183836.pdf.
- Bunker Index. 2019. BIX World MGO -bunkkeripolttoaineindeksi. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.bunkerindex.com/>. [Lainattu 9.10.2019].
- Cafferky, M. & Wentworth, J. 2014. Breakeven analysis: the definitive guide to cost-volume-profit analysis. Business Expert Press, New York. ISBN 9781631570926: 1-4.
<https://helka.finna.fi/Record/helka.3150286>.
- Energiavirasto. 2016. Syöttötariffin määräytyminen. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Sy%C3%B6tt%C3%B6tariffin+m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ytyminen+v2+2016-04-04+FI.pdf/11af9b3b-7cd7-4cf2-8091-403803ca8302>. [Lainattu 17.2.2019].
- Energiavirasto. 2019a. Metsähakkeen tuotantotuki. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.energiavirasto.fi/metsahakkeen-tuotantotuki>. [Lainattu 17.2.2019].
- Energiavirasto. 2019b. Päästökauppa. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/paastokauppa>. [Lainattu 12.9.2019].
- ENplus. 2018. A Quality Scheme. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.enplus-pellets.eu/en-in/about-us-en-in/a-quality-scheme.html>. [Lainattu 27.1.2019].
- Enström, J. 2015. Möjligheter till inrikes sjötransporter av skogsbränsle. Skogforsk arbetsrapport nro. 874-2015: 16-20. <https://www.skogforsk.se/contentassets/sets/2d35a2eab2b440a9b6846041208653f7/arbetsrapport-874---mojligheter-till-inrikes-sjo-transporter-av-skogsbransle.pdf>.
- Enström, J. 2016. Ship transport of forest fuel. Skogforsk, Forest energy for a sustainable future:110-113. <https://www.skogforsk.se/contentassets/68196d6499ef46c0a4ff48e7a0e66caf/forest-energy-for-a-sustainable-future.pdf>.
- ESL Shipping. 2019. Fleet. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.eslshipping.com/en/fleet/>. [Lainattu 22.2.2019].
- Estonian Timber. 2016. Wood balance 2016 and wood use forecast 2019 (käännös). Edunvalvontajärjestön puutase-julkaisu: 28-33. <http://empl.ee/wp-content/uploads/2015/01/Puidubilanss-2016-ja-2019.pdf>.
- European Energy Exchange. 2018. Wood Pellets Futures. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.eex.com/en/market-data/energiewende-products/wood-pellets-futures>. [Lainattu 26.1.2019].
- European Commission. 2019a. 2020 climate & energy package. [Internet-sivu]. Saatavilla: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en. [Lainattu 8.10.2019].
- European Commission. 2019b. 2030 climate & energy framework. [Internet-sivu]. Saatavilla: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en. [Lainattu 8.10.2019].

- European Commission. 2019c. 2050 long-term strategy. [Internet-sivu]. Saatavilla: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en. [Lainattu 8.10.2019].
- Fern. 2018. National Forestry Accounting Plan by Lithuania. EU-sääntelyn mukainen metsätalouden kirjanpitosuunnitelma: 21. https://www.fern.org/fileadmin/uploads/fern/Documents/NFAP_Lituania.pdf.
- Finbex. 2019. Bioenergian sähköinen markkinapaikka starttaa alkuvuodesta 2020. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.finbex.fi/>. [Lainattu 8.10.2019].
- Finlex. 2019. Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101396>. [Lainattu 17.2.2019].
- FOEX. 2018. Bioenergy and Wood Indices. [Internet-sivu]. Saatavilla: <http://foex.fi/biomass/>. [Lainattu 19.12.2018].
- Ghazanfari, D. 2008. Vesitiekuljetus vaihtoehtoisena metsäpolttoaineiden kaukokuljetusmuotona – hankintaketjujen hiilidioksidipäästövertailu. Pro gradu -työ: 57-60. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-201507212165>.
- Goltsev, V., Thriskin, M. & Tolonen, T. 2011. Efficiency of forest chip transportation from Russian Karelia to Finland. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 189: 6-19. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp189.pdf>.
- Hagland. 2019. Fleet – Hagland Captain. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.hagland.com/fleet/hagland-captain/>. [Lainattu 12.2.2019].
- Hakonen, T. 2013. Bioenergiaterminaalin hankintaketjujen kannattavuus eri kuljetusetäisyyksillä ja -volyymeillä. Pro gradu -tutkielma: 36-40. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-201302281068>.
- HaminaKotka. 2019a. Satamamaksu tavarasta 2019. [Internet-sivu]. Saatavilla: https://www.haminakotka.com/sites/default/files/attachment/Satamamaksu_tavarasta_2019.pdf. [Lainattu 2.3.2019].
- HaminaKotka. 2019b. Varastoalueiden tilapäisvuokrat 2019. [Internet-sivu]. Saatavilla: https://www.haminakotka.com/sites/default/files/attachment/Varastoalueiden_tilapaisvuokrat_2019.pdf. [Lainattu 2.3.2019].
- Hautamäki, S., Mutanen, A. & Viitanen, J. 2012. Substitution in the Finnish Forest Industry's Roundwood Procurement. Silva Fennica, vol. 46, no. 3: 2-14. <https://doi.org/10.14214/sf.51>.
- Helsingin Satama. 2019. Hinnasto. Helsingin Sataman julkaisu: 3-5. https://www.portofhelsinki.fi/sites/default/files/attachments/Hinnasto_2019_2.pdf.
- Huhtinen, M. 2017. Rankahakkeen tiivistämisen vaikutus kuljetuskustannuksiin. Diplomityö: 25-30 & 72. <https://docplayer.fi/47064768-Rankahakkeen-tiivistamisen-vaikutus-kuljetuskustannuksiin.html>.
- Hänninen, R., Mutanen, A. & Viitanen, J. 2017. Trade, Demand and Availability of Roundwood in the Baltic Sea Region. Proceedings of Roundwood Markets in the Baltic Sea Region – Now and Tomorrow, September 2017: 2-18. http://www.idanmetsatieto.info/tiedostot/tiedotteet/Hanninen_Luke_1.pdf.

- Iikkanen, P. 2018. Alusten satamatoimintoihin kuluva ajan arviointi – Ohjeavrot vesiväylien hankearviointia varten. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 19/2018: 31-37. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2018-19_alusten_satamatoimintoihin_web.pdf.
- Ikonen, T., Jahkonen, M., Pasanen, K. & Tahvanainen, T. 2013. Laadunhallinta ja keskeiset laatutekijät metsäenergian toimitusketjuissa. Metlan työraportteja 275: 9-23. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp275.pdf>.
- Inkoo Shipping. 2019. Palveluhinnasto. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.inkooshipping.fi/maksut>. [Lainattu 2.3.2019].
- Intercontinental Exchange. 2018a. API2 Rotterdam Coal Futures. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.theice.com/products/243/API2-Rotterdam-Coal-Futures/data?marketId=661437&span=1>. [Lainattu 26.1.2019].
- Intercontinental Exchange. 2018b. Brent Crude Futures. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.theice.com/products/219/Brent-Crude-Futures/data?marketId=222469&span=1>. [Lainattu 26.1.2019].
- Intercontinental Exchange. 2019. EUA Futures. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.theice.com/products/197/EUA-Futures/data?marketId=400186&span=3>. [Lainattu 7.10.2019].
- Investopedia. 2019. Baltic Dry Index – Definition. [Internet-sivu]. Saatavilla: https://www.investopedia.com/terms/b/baltic_dry_index.asp. [Lainattu 1.3.2019].
- Islander, A. 2018. Puunkäyttö ja tuontipuu – Metsäteollisuuden puunkäyttö ja tuontipuu. Metsäteollisuus ry:n tilastot. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/metsavarat/>. [Lainattu 16.2.2019].
- Jutila, L., Karvinen, S., Leinonen, T. & Välkky, E. Venäjän tullipolitiikan vaikutuksista Suomen ja Venäjän väliseen metsäsektorin kauppaan. 2010. Metlan työraportteja 155: 5-14. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp155.pdf>.
- Karttunen, K., Väättäinen, K., Asikainen, A. & Ranta, T. 2012. The Operational efficiency of waterway transport of forest chips on Finland's Lake Saimaa. Silva Fennica, vol. 46, no. 3: 405. <https://silvafennica.fi/pdf/article49.pdf>.
- Klemetti, E. 2012. Leimikosta loppukäyttäjälle – Energiapuun toimitusketjun kehittäminen. PUULOG Bioenergian hankintalogistiikka Pohjois-Suomessa -hankkeen julkaisuja: 17-18. <http://julkaitika oulu.fi/files/isbn9789526200750.pdf>.
- Knüpfer, S. & Puttonen, V. 2011. Moderni rahoitus. WSOYpro Oy, Juva. 244 p.
- Koistinen, A., Liiro, J-P. & Vanhatalo, K. 2016. Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja: 74-75. https://www.metsanhoitosuositukset.fi/wp-content/uploads/2017/05/Metsanhoidon_suosituks_energiapuun_korjuuseen_Tapio_2016_C.pdf.
- Korpilahti, A. 2012. Puupolttoaineiden ja polttoturpeen kuljetuskalusto 2010 sekä hakeautojen kustannuslaskuri. Metsätehon tiedote 2/2012. [Internet-sivu]. Saatavilla: <http://www.metsateho.fi/puupolttoaineiden-ja-polttoturpeen-kuljetuskalusto-2010-seka-hakeautojen-kustannuslaskuri/>. [Lainattu 19.12.2018].

- Kvarken Ports. 2019. Palveluhinnasto 2019 Vaasa. Vaasan Sataman julkaisu: 2-7.
http://www.kvarkenports.com/download/18.7ded4627160763b8b4817ca/1545578632161/HINNASTO_Vaasa.pdf.
- Kymäläinen, H., Sikanen, L., Parikka, H. & Tahvanainen, T. 2007. Cost Competitiveness of Imported Russian Energy Wood – Case North Karelia. 5 EURES Project Report EIE/04/086/S07.38582: 3-8. https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/5_eures_import_of_russian_energy_wood.pdf.
- Kärhä, K. 2008. Metsähakkeen tuotantoprosessikuvaukset. Metsätehon tulosalvosarja 3/2008: 5.
http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulosalvosarja_2008_03_Metsahakkeen_tuotantoprosessi_kk.pdf.
- Laitila, J., Asikainen, A. & Ranta, T. 2017. Cost analysis of transporting forest chips and forest industry by-products with large truck-trailers in Finland. Esitys ”Industrial scale bioeconomy and its requirements” konferenssissa 14.6.2017: 6-8. <http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/L2.2.-Laitila.pdf>.
- Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT Tiedotteita 2564: 34-125.
<https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2564.pdf>.
- Laitila, J. & Väättä, K. 2011. Kokopuun ja rangan autokuljetus ja haketustuottavuus. Metsätieteen aikakauskirja 2/2011: 114–115. <https://www.metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article6635.pdf>.
- Latvian maatalousministeriö. 2017. Forest Sector in the 25 Years of Independence of Latvia. Raportti metsäsektorin kehityksestä: 22-25. https://www.zm.gov.lv/public/ck/files/Meza_nozare_25_en.pdf.
- Latvian maatalousministeriö. 2019b. Latvian Forest Sector in Facts and Figures 2018. Metsäsektorin vuosikatsaus: 3-15. https://www.zm.gov.lv/public/ck/files/skaitlifakti_ENG_19.pdf.
- Latvian maatalousministeriö. 2019a. Foreign trade statistics – Export and import 2017–2018. Excel-taulukko. <https://www.zm.gov.lv/en/mezi/statiskas-lapas/statistics?nid=1233#jump>.
- Latvijas valsts meži. 2019. Annual report 2018. Valtion metsäyhtiön vuosiraportti: 5-29.
https://www.lvm.lv/images/lvm/Par_mums/EN/Finances/as-lvm-2018-parskats_engl.pdf.
- Leppänen, J. 2014. Kierrätyspuun jalostaminen kiinteäksi biopolttoaineeksi. Diplomityö: 11-12.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:tyy-201410011473>.
- Lindroos, T., Lehtilä, A., Koljonen, T., Kofoed-Wiuff, A., Hethy, J., Dupont, N. & Vitina, A. Nordic Council of Ministers – Baltic Energy Technology Scenarios 2018. TemaNord 2018/515: 115-118. <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1195548/FULLTEXT01.pdf>.
- Luonnonvarakeskus. 2019. Puun energiakäyttö 2018. [Internet-sivu]. Saatavilla:
<https://stat.luke.fi/puun-energiak%C3%A4ytt%C3%B6-2018.fi>. [Lainattu 25.1.2019.]
- Meriäura. 2018. Laivat. [Internet-sivu]. Saatavilla: <http://www.meriaura.fi/laivat>. [Lainattu 24.10.2018].
- Meriäura. 2019. M/S Martta VG. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://meriaura.fi/portfolio/marttavg>. [Lainattu 2.3.2019].
- Meždunarodnaja bioenergetika. 2018. Pellety idut na biržu, ulutššaja kreditnyi reiting. The Bioenergy International 4(49): 12-13.

- Muro, V. 1998. Handbook of financial analysis for corporate managers. AMACOM, New York.
ISBN 9780814403990: 203-225. <https://helka.finna.fi/Record/helka.2672241>.
- Mustonen, M., Viitanen, J., Hänninen, R., Knuuttila, M. & Jansik, C. 2017. Puun tarjonta ja puun käytön tulevaisuuden näkymät Itämeren alueella. Metsätieteen aikakauskirja 2017-7687: 1-8. <https://doi.org/10.14214/ma.7687>.
- Mutanen, A., Viitanen, J., Toppinen, A., Hänninen, R. & Tolopainen, P. 2005. Forest Resources, Production and Exports of Roundwood and Sawnwood from Russia. Metlan työraportteja 9: 17-22. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp009.pdf>.
- Mutanen, A. & Viitanen, J. 2017. Venäläisen tuontipuun rahaintojen ja Suomen kantohintojen väliset vuorovaikutussuhteet. Metsätieteen aikakauskirja 2017-7692: 2-16. <https://doi.org/10.14214/ma.7692>.
- Naciscionis, K. 2015. The analysis of wood fuel export through Estonian ports and an assessment of its effectiveness. Lopputyö: 24-60. <https://digi.lib.ttu.ee/i/file.php?DLID=1948&t=1>.
- Nummelin, T., Petäjistö, L. & Rummukainen, A. 2014. Metsähakkeen käyttö ja hankinta energiantuotantolaitoksissa – toimintatavat ja toiminnan ongelmat. Metla työraportteja 292: 5-12. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp292.pdf>.
- Pekkanen, M. & Stewart, P. 2017. Benchmarking Biomass Supply Chains. Proceedings of Nordic Baltic Bioenergy Conference, March 2017: 5-8. https://induforgroup.com/wp-content/uploads/2017/08/nordicbaltic_f2m_300317.pdf.
- Peltoniemi, M., Isoaho, S., Hämäläinen, T., Nurmi, P. & Nummela, E. 2004. Katsaus systeemiteorioihin – Järjestelmäajattelu. Tampereen teknillisen yliopiston julkaisuja: 6-28. http://www.utu.fi/en/units/ffrc/research/project-archive/environment/Documents/etu_7.pdf.
- Prima Shipping. 2018. Alukset. [Internet-sivu]. Saatavilla: <http://www.primas.fi/fi/prima-shipping/laivat>. [Lainattu 24.10.2018].
- Prima Shipping. 2016. MV Prima Ballerina. [Internet-sivu]. Saatavilla: http://www.primas.fi/images/uploads/factsheets/PrimaBallerina_pocketplan_vers2016.pdf. [Lainattu 2.3.2019].
- Proskurina, S., Junginger, M., Heinimö, J., Tekinel, B. & Vakkilainen, E. 2018. Global biomass trade for energy— Part 2: Production and trade streams of wood pellets, liquid biofuels, charcoal, industrial roundwood and emerging energy biomass. Lappeenranta teknillisen yliopiston julkaisuja: 6-8. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201803063768>.
- Pursula, A. 1999. Vaikutuskaaviot ja päätöspuut – Herkkyysanalyysi ja informaation arvo. Teknillinen korkeakoulu, Systeemianalyysin Laboratorio: Optimointiopin seminaari – Syksy 1991/1. http://salserver.org.aalto.fi/vanhat_sivut/Opinnot/Mat-2.4142/Sem_syksy99/esitel-mat/esit4.pdf.
- Putula, J & Hilli, A. 2017. Hakkeen laatuun vaikuttavat tekijät. Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut ISSN 1798-2022: 6-8. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/134175/ePooki%2030_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- Raitila, J., Virkkunen, M. & Heiskanen, V-P. 2014. Metsäpolttoaineiden varastoitavuus runkoina ja hakkeena sekä lämmöntuotantoon integroitu metsäpolttoaineen kuivaus. VTT-tutkimusraportti VTT-R-04524-14: 16-19. <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-R-04524-14.pdf>.
- Rauman Satama. Palveluhinnasto 2019. Rauman sataman julkaisu: 4-17.
http://www.portofrauma.com/sites/default/files/rauman_satama_oy_palveluhinnasto_2019.pdf.
- Riigimetsa majandamise keskus. 2018. Kuulutused, Metsä ja puidu müük. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://rmk.ee/organisatsioon/kuulutused-1/metsa-ja-puidu-muuk/kuulutused>. [Lainattu 19.12.2018].
- Riigimetsa majandamise keskus. 2019. Sale of timber – Sales statistics. Excel-tiedosto.
<https://rmk.ee/sale-o/sale-of-t>.
- Rubin, A. 2019. SSM:n perusteet. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://tulevaisuus.fi/menetelmat/pehmea-systeemimetodologia-ssm/ssmn-perusteet/>. [Lainattu 30.5.2019].
- Ruohomäki, K. & Toivonen, S. 2016. Päästökaupan toiminta ja kustannusvaikutukset. Elinkeinoelämän keskusliiton julkaisuja: 3-6. https://ek.fi/wp-content/uploads/Paastokauppa_Tietopaketti_2016.pdf
- Sikanen, L., Korpinen, O-J., Tornberg, J., Saarentaus, T., Leppänen, K. & Jahkonen, M. 2016. Energy Biomass Supply Chain Concepts Including Terminals. BEST-hankeraportti: 6-25.
<http://www.juuli.fi/Record/02069640YJ>.
- Similä, L. 2012. Energiahyödykkeiden merikuljetukset. VTT Technology 22: 13-63.
<https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T22.pdf>.
- Stopford, M. 1997. Maritime Economics. Second edition: 77-89 & 159-175.
http://www.harbour-maritime.com/uploads/1/2/9/8/12987200/maritimeeconomics_secondedition.pdf.
- Strandström, M. 2018. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa 2017. Metsätehon tulosalvosarja 11/2018: 9-19. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2018_11_Metsahakkeen_tuotantoketjut_2017.pdf.
- Suomen Laivameklariliitto. 2019. Shipbrokers Finland, Mitä jäsenyrytykset tekevät: Rahtausmeklarit. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://shipbrokers.fi/shipbrokers-in-finland/>. [Lainattu 17.2.2019].
- Tilastokeskus. 2016. Tieliikenteen tavarankuljetukset 2015. [Internet-sivu]. Saatavilla: https://www.stat.fi/til/kttav/2015/kttav_2015_2016-05-18_tau_010_fi.html. [Lainattu 18.11.2018].
- Tilastokeskus. 2017. Tieliikenteen tavarankuljetukset 2016. [Internet-sivu]. Saatavilla: https://www.stat.fi/til/kttav/2016/kttav_2016_2017-04-28_tau_010_fi.html. [Lainattu 18.11.2018].
- Tilastokeskus. 2018a. Käsitteet - hyödyke. [Internet-sivu]. Saatavilla: <http://www.stat.fi/meta/kas/hyodyke.html>. [Lainattu 26.1.2019].

- Tilastokeskus. 2018b. Kotimaisten polttoaineiden käyttäjähinnat energiantuotannossa. [Internet-sivu].
 Saatavilla: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/stat-fin_ehi_pxt_001.fi.px/?rxid=4db8303b-b7b6-464e-81dc-b856a31279d3v. [Lainattu 24.6.2019].
- Tilastokeskus. 2018c. Tieliikenteen tavarankuljetukset 2017. [Internet-sivu]. Saatavilla: https://www.stat.fi/til/kttav/2017/kttav_2017_2018-04-26_tau_010.fi.html. [Lainattu 13.2.2019].
- Tilastokeskus. 2019. Energian kokonaiskulutus kasvoi 2 prosenttia vuonna 2018. [Internet-sivu].
 Saatavilla: https://tilastokeskus.fi/til/ehk/2018/04/ehk_2018_04_2019-03-28_tie_001.fi.html. [Lainattu 8.10.2019].
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 4/2017: 36-82. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2018. Lakiehdotukset: kivihiilikielto 2029, lisää biopolttoaineita liikenteeseen sekä biopolttoöljyä lämmitykseen ja työkoneisiin. [Internet-sivu]. Saatavilla: https://tem.fi/artikkeli/-/asset_publisher/lakiehdotukset-kivihiilikielto-2029-lisaa-biopolttoaineita-liikenteeseen-seka-biopolttoolja-lammitykseen-ja-tyokoneisiin. [Lainattu 2.12.2018].
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2019. Päästökauppa. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://tem.fi/paastokauppa>. [Lainattu 12.9.2019].
- Valstybinių miškų urėdija. 2019. Valtion metsäyhtiön puukauppatilasto elokuu 2019. [Internet-sivu].
 Saatavilla: https://www.vivmu.lt/wp-content/uploads/2019/09/Pard_med_sort_2019_08.pdf. [Lainattu 13.10.2019].
- Varis, O. 2014. Polttihakkeen tuotantokustannukset. Opinnäytetyö: 32-42.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2014060912212>.
- Venäläinen, P. & Poikela, A. 2016. Energiapuun kuljetuskaluston ja meno-paluukuljetusten skenaariot. Metsätehon tulosalvosarja 2a/2016: 9. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2016_02a_Energiapuun_kuljetuskaluston_ja_meno-paluukuljetusten_skenaariot.pdf.
- Venäläinen, P. 2019. Puutavara- ja hakeajoneuvojen pidentämisen vaikutukset. Metsätehon raportti 246: 6-10. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Metsatehon_raportti_246_Puutavara_ja_hakeajoneuvojen_pidentamisen_vaiikutukset.pdf.
- Verohallinto. 2018. Energiaverotukseen sekä biopolttoaineiden jakeluvetoitteeseen esitetään muutoksia. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.vero.fi/tietoa-verohallinnosta/verohallinnon-esitely/uutiset/uutiset/2018/energiaverotukseen-muutoksia-he/>. [Lainattu 17.2.2019].
- Virkkunen, M. 2013. Energiapuun hankintamenettely metsästä laitokselle: Metsähakkeen hankintaketjut, hankintakustannukset ja metsähakkeen saatavuus. Esitys Jyväskylän kaupungin tilaisuudessa ”Kohti kotimaista energiaa – kustannussäästöjä ja yrittäjyyttä kuntiin” 9.10.2013: 13. http://reittivedet.fi/wp-content/uploads/2013/10/Metsahakkeen-korjuuketjut_Matti-Virkkunen-VTT.pdf.

- Viron tilastokeskus. 2018. Quarterly Bulletin of Statistics Estonia. Kvartaalijulkaisu 2/18: 42-44.
https://www.stat.ee/publication-2018_quarterly-bulletin-of-statistics-estonia-2-18.
- VTT. 2014. Puupolttoaineiden laatuohje. VTT julkaisuja: 8-38.
https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-M-07608-13_2014_%20update.pdf.
- Wagenborg. 2019. Fleetlist. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.wagenborg.com/fleetlist>.
[Lainattu 8.10.2019].
- Windisch, J. 2015. Process redesign in development of forest biomass supply for energy. Dissertations Forestales 189: 24-25. <https://dissertationesforestales.fi/pdf/article1969.pdf>.
- Wood Resources International. 2017. Global Timber and Wood Products Market Update. [Internet-sivu].
Saatavilla: <https://mb.cision.com/Main/1902/2239988/657985.pdf>. [Lainattu 26.1.2019].
- Ylitalo, E. 2017. Tuontipuu energiantuotannossa. Esitys Koneyrittäjien Energiapäivässä 24.3.2017: 5-21. <https://www.koneyrittajat.fi/media/Julkinen/Liitteet/Tapahtumat/Energiapaiva2017/Ylitalo.pdf>.
- Ympäristöministeriö. 2018a. Euroopan unionin ilmastopolitiikka. [Internet-sivu]. Saatavilla: http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Euroopan_unionin_ilmastopolitiikka. [Lainattu 30.12.2018].
- Ympäristöministeriö. 2018b. Kansallinen ilmastopolitiikka. [Internet-sivu]. Saatavilla: http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansallinen_ilmastopolitiikka. [Lainattu 30.12.2018].
- Yritystulkki. 2019. Investoinnin kannattavuus. [Internet-sivu]. Saatavilla: <https://www.yritystulkki.fi/fi/alue/oulu/aloittava-yrittaja/suunnittelu/taloussuunnitelmat/investoinninkannattavuus/>. [Lainattu 30.5.2019].
- Zhu, Q. 2014. Coal sampling and analysis standards. IEA Clean Coal Centren julkaisuja: 14-17. https://www.usea.org/sites/default/files/042014_Coal%20sampling%20and%20analysis%20standards_ccc235.pdf.